¿CUÁNTO SABÉS SOBRE EL UNIVERSO?

Apuntes básicos sobre Astronomía - 2014

Autores: Dra. Eugenia Díaz-Giménez / Dr. Ariel Zandivarez
Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (CONICET)
Observatorio Astronómico de Córdoba (UNC)

Imagen: Aldo Mottino / Estación Astrofísica de Bosque Alegre

ISBN 978-987-33-5816-6

9 789873 358166

Índice

INTRODUCCIÓN

“ Podemos perdonar fácilmente a un niño
que le tiene miedo a la oscuridad;
la verdadera tragedia de la vida es
cuando un adulto le tiene miedo a la luz”
Platón (427 a.C. – 347 a.C.)

En este apunte detallaremos las características físicas de distintos objetos que pueblan el Universo, y haremos un recorrido por las distintas escalas de tamaños y distancias. También compartiremos algunos consejos para la observación del cielo. Mucho de lo que está recopilado en estos textos fue publicado originalmente en la página de Facebook del Observatorio Astronómico de Córdoba (http://bit.ly/ObservatorioCBA) entre los años 2011 y 2013, algunos de los temas están basados en preguntas que recibíamos de nuestros lectores. Otros temas pueden consultarlos en los videos explicativos que compartimos en www.youtube.com/user/arielz77

0.1 LA LUZ

Antes de empezar nuestro viaje por el Universo, es necesario hacer un breve repaso sobre el principal objeto de estudio de la Astronomía: la luz.

Toda la información que tenemos del Universo la recibimos en forma de luz (radiación electromagnética). La luz viaja a velocidad finita: ~300.000 km/s. Esto no es una hipótesis, no es una teoría, no es una ley. Es un hecho. Y es un hecho que no es muy difícil de comprobar. En la Tierra las distancias son demasiado pequeñas para darnos cuenta que la luz no se transporta de manera instantánea, pero por ejemplo nuestra vecina más cercana, la Luna, ya nos sirve de laboratorio para hacer experimentos: la Luna se encuentra a unos 384.000km de la tierra, es decir que con el instrumental necesario (un láser potente y una antena receptora) podríamos determinar cuánto tiempo le lleva a la luz viajar desde la Tierra, rebotar en los espejos que dejaron los astronautas en la Luna, y regresar hasta nuestro receptor. Bueno, ese viaje de ida y vuelta le toma a la luz unos 2 segundos y medio, es decir, no es instantáneo. La utilización de distintos métodos de procesamiento de esa luz es la que nos permite acceder a las diferentes características de cada objeto, ya sea a través del análisis de imágenes, espectros (descomposición en colores), magnitudes (brillos), etc. La velocidad con que se desplaza la luz se ha medido con una precisión inimaginable. Galileo (1638) empezó desarrollando algunos métodos, luego Fizeau (1849) y Michelson (1926) lo perfeccionaron. A través del uso de instrumental de alta precisión como relojes de cesio y láseres, se pudo determinar que la velocidad de la luz en el vacío es de 299.792,458 km/s con un error de 0,001 km/s.

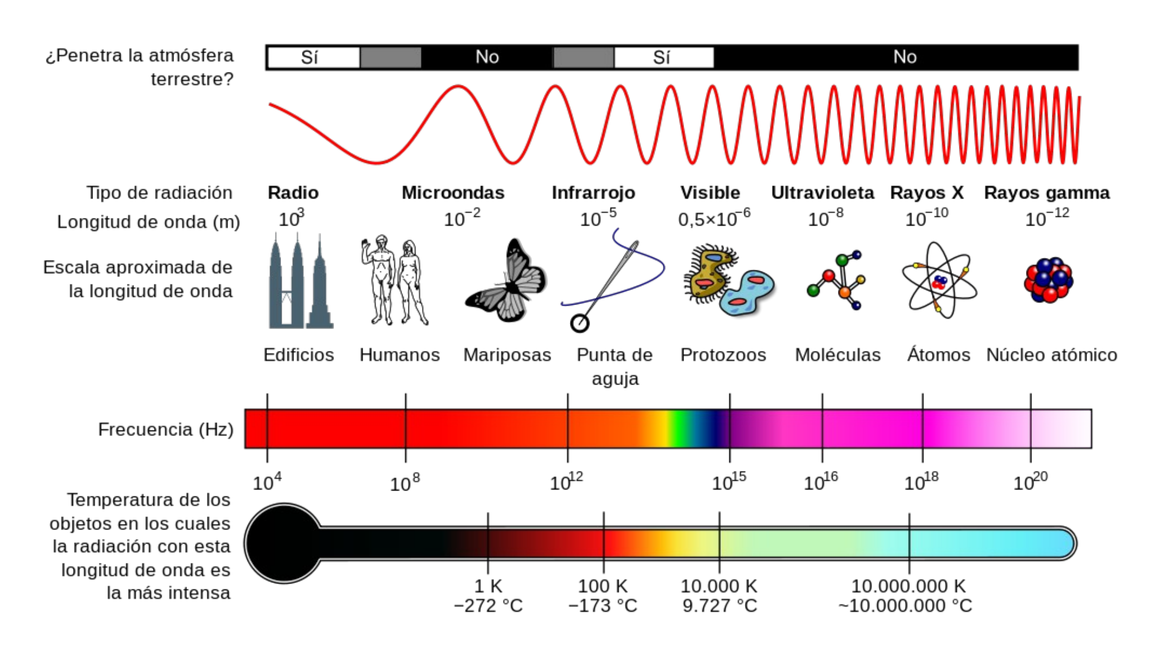
Ahora, el hecho de que la luz viaja a una velocidad finita tiene como consecuencia una de las cosas más interesantes que tiene la Astronomía: hace que siempre estemos "desactualizados" sin importar cuánto nos esforcemos por estar al día, es decir, cada vez que miramos al cielo estamos viendo el pasado. Así, la aparentemente simple pregunta: ¿qué está sucediendo en el Sol en este momento? no puede ser respondida por un observador en la Tierra, ya que a la luz le toma 8 minutos recorrer los 150 millones de kilómetros que separan al Sol de la Tierra. Para galaxias distantes, los tiempos de viaje de la luz son mucho mayores. Y a medida que observamos objetos más y más lejanos, esa “desactualización” es más y más evidente. Veamos un par de ejemplos más:

(1) supongamos que la estrella Betelgeuse de la constelación de Orión explota como supernova hoy, ahora mismo. Dadas la distancia a la estrella y la velocidad con la que viaja esa información (luz), en la Tierra no nos enteraríamos hasta dentro de ~642 años. O, dicho de otra manera, si Betelgeuse hubiera explotado hace ~642 años, recién esta noche veríamos una espectacular explosión en el cielo.
(2) la luz que vemos ahora de nuestra galaxia espiral vecina Andrómeda, salió de esa galaxia hace 2.500.000 años, es decir, la vemos cómo era hace 2 millones y medio de años atrás! Si nos sirve de consuelo, si un astrónomo nos estuviera observando desde Andrómeda también nos vería desactualizados, vería la Tierra cómo era hace esa misma cantidad de años. Como dijo Albert Einstein: "El pasado, presente y futuro son sólo ilusiones, aunque sean persistentes".

El tiempo en el pasado en el cuál la luz que recibimos ahora de un objeto distante fue emitida se llama tiempo "look-back". Cuando en astronomía se discuten eventos que suceden en objetos distantes, se sabe que el evento ocurrió hace mucho debido al tiempo de viaje de la luz. Ya que en astronomía sólo podemos estudiar imágenes de los objetos (no podemos viajar hasta ellos para tocarlos o ponerles un termómetro!!!) el estudio del universo es similar a encontrar un conjunto de fotos de un niño en una "cápsula del tiempo" de hace 300 años. Podemos ver cómo el niño fue desarrollándose hace 300 años atrás, aunque él no continúe con vida hoy. Otra analogía que sirve para comprender mejor la forma en la que se trabaja en astronomía, es la comparación de observar el cielo con tener un pariente en un lugar alejado, supongamos en China. Supongamos que nuestro pariente tiene un hijo, y nos manda esa información por correo. Pero el cartero decide venir a pie (bueno, sí, tiene que ser buen nadador también). Entonces, a los 10 años nos llega la carta de nuestro pariente que acaba de tener un hijo e inclusive nos manda una bonita foto de un bebé. Nosotros podremos conocer ese bebé cómo era hace 10 años, pero no sabemos cómo luce ahora mismo! Lo mismo sucede con la información que nos llega de todos los objetos del universo. ¿Viene con un cartero chino? No, viaja a una velocidad que, a pesar de ser lo que se mueve más rápido en el universo, no es suficiente para que la información se traslade de forma instantánea.

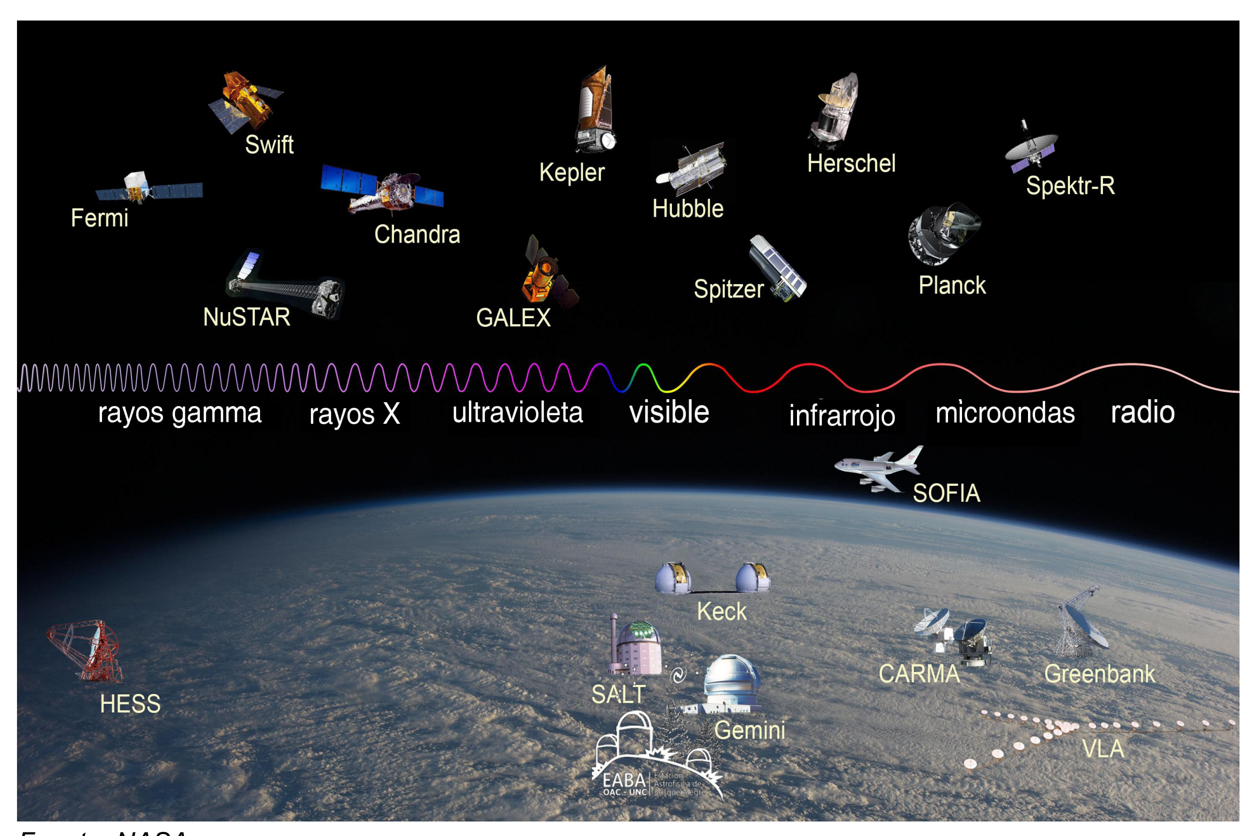
Bueno, resumiendo, cada vez que se habla de objetos astronómicos se toma por sentado que estamos viéndolos cómo eran en el momento en el que la luz empezó su viaje hacia nosotros, es decir que los estamos viendo cómo eran en el pasado. No se trata de qué tan grande sea nuestro telescopio, ni de qué tan avanzada sea nuestra tecnología, ni en qué lugar del Universo nos encontramos. Se trata de la velocidad con que la luz recorre una determinada distancia y llega hasta nuestro detector (ya sea un ojo, unos binoculares o el telescopio más grande del mundo!)

La luz, o radiación electromagnética, contiene toda la información que obtenemos de los objetos. Estudiando la descomposición de la luz en “colores” o longitudes de onda, podemos conocer la composición química de los objetos o la distancia a la que estos se encuentran, entre otras cosas. Esa descomposición de la luz es lo que se conoce como el espectro electromagnético. El espectro se puede dividir en regiones: rayos gamma, rayos X, ultravioleta, visible, infrarrojo, microondas y radio. Todos los objetos que emiten luz, lo hacen en todo el rango de longitudes de onda del espectro electromagnético, algunos más intensamente en alguna región particular del espectro. Por ejemplo, la emisión de luz del Sol es más intensa en la región que denominamos “visible”, que es la que nuestro ojo es capaz de detectar, pero también emite rayos X, rayos ultravioletas y luz infrarroja. El rango en el que la emisión de un objeto es más intensa está relacionado con la temperatura del objeto emisor. En la siguiente imagen se esquematiza el espectro de luz , la longitud de onda, la frecuencia y la temperatura característica de cada longitud de onda:



Fuente Wikipedia - http://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM_Spectrum_Properties_es.svg

En Astronomía se estudia la luz recibida en todo el espectro electromagnético. Se desarrollan detectores especiales para cada rango de longitudes de onda, así se cuenta con telescopios sensibles a la radiación en ondas de Radio, en infrarrojo, en visible, en rayos X, etc. Algunas de las longitudes de onda que componen la luz son absorbidas por nuestra atmósfera, por lo que muchas veces se colocan telescopios fuera de la atmósfera para poder recibir esa porción de información. En la siguiente imagen se muestran algunos de los observatorios más conocidos mundialmente que trabajan en diferentes rangos del espectro electromagnético, ya sea desde la tierra o desde afuera de la atmósfera.



Fuente: NASA - http://imagine.gsfc.nasa.gov/Images/science/observatories_across_spectrum_labeled_full.jpg

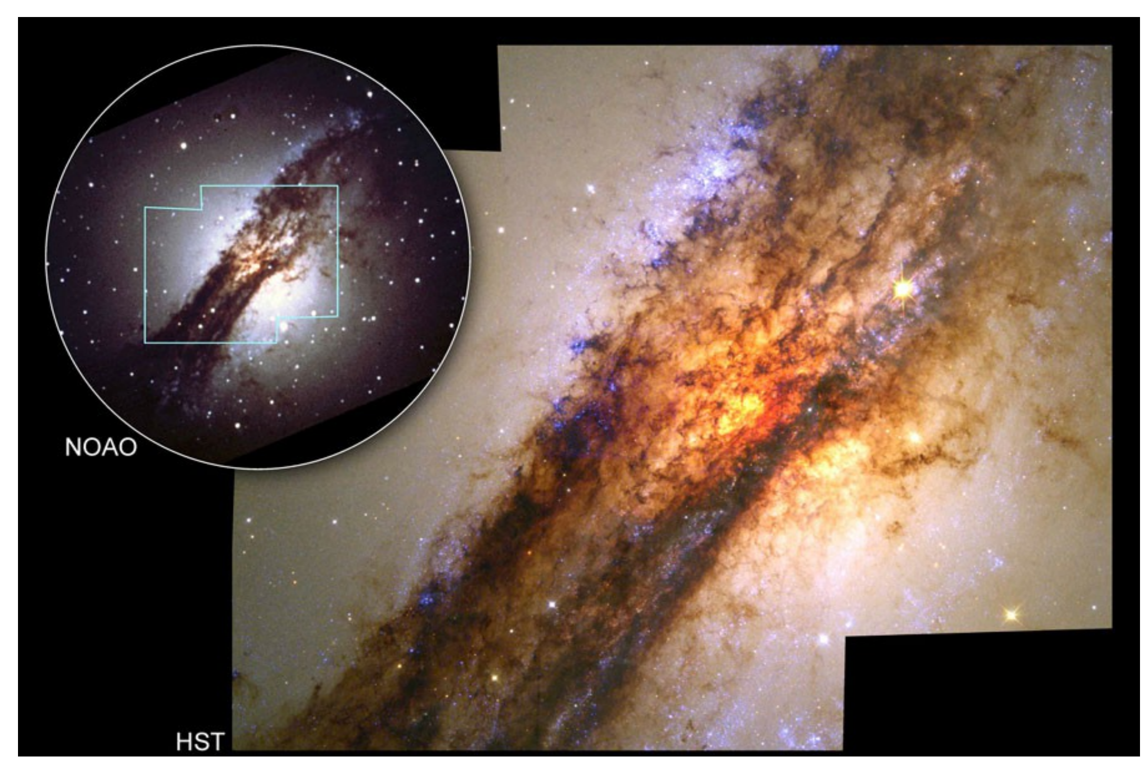
0.2 LAS IMÁGENES ASTRONÓMICAS

La observación de objetos astronómicos en distintas longitudes de onda brinda información de las componentes y temperaturas de dichos objetos. A menudo vemos imágenes a todo color de los objetos astronómicos, los colores vibrantes de las imágenes de nebulosas y galaxias son ampliamente admirados, pero, si existieran viajeros espaciales que pudieran pasar por estos objetos: ¿qué verían? o ¿ cómo se hacen las imágenes de objetos del espacio?

Los telescopios pueden captar la radiación de energía del espectro electromagnético que es invisible para el ojo humano. Los detectores electrónicos, similares a los encontrados en nuestras cámaras digitales, crean imágenes en blanco y negro que luego son transmitidas a las computadoras para su procesamiento.

Debido a que los detectores sólo miden la intensidad de la radiación, las imágenes aparecen en escala de grises. Sin embargo, cada píxel se compone de un determinado tono de gris que contiene alguna información de color basado en la longitud de onda ("color") recogida por el telescopio. Las imágenes finales se componen de dos o más capas de estas exposiciones en escala de grises. Los colores que hacen que las imágenes espaciales sean tan agradables a la vista se agregan generalmente como una herramienta para que los científicos estudien un proceso físico.

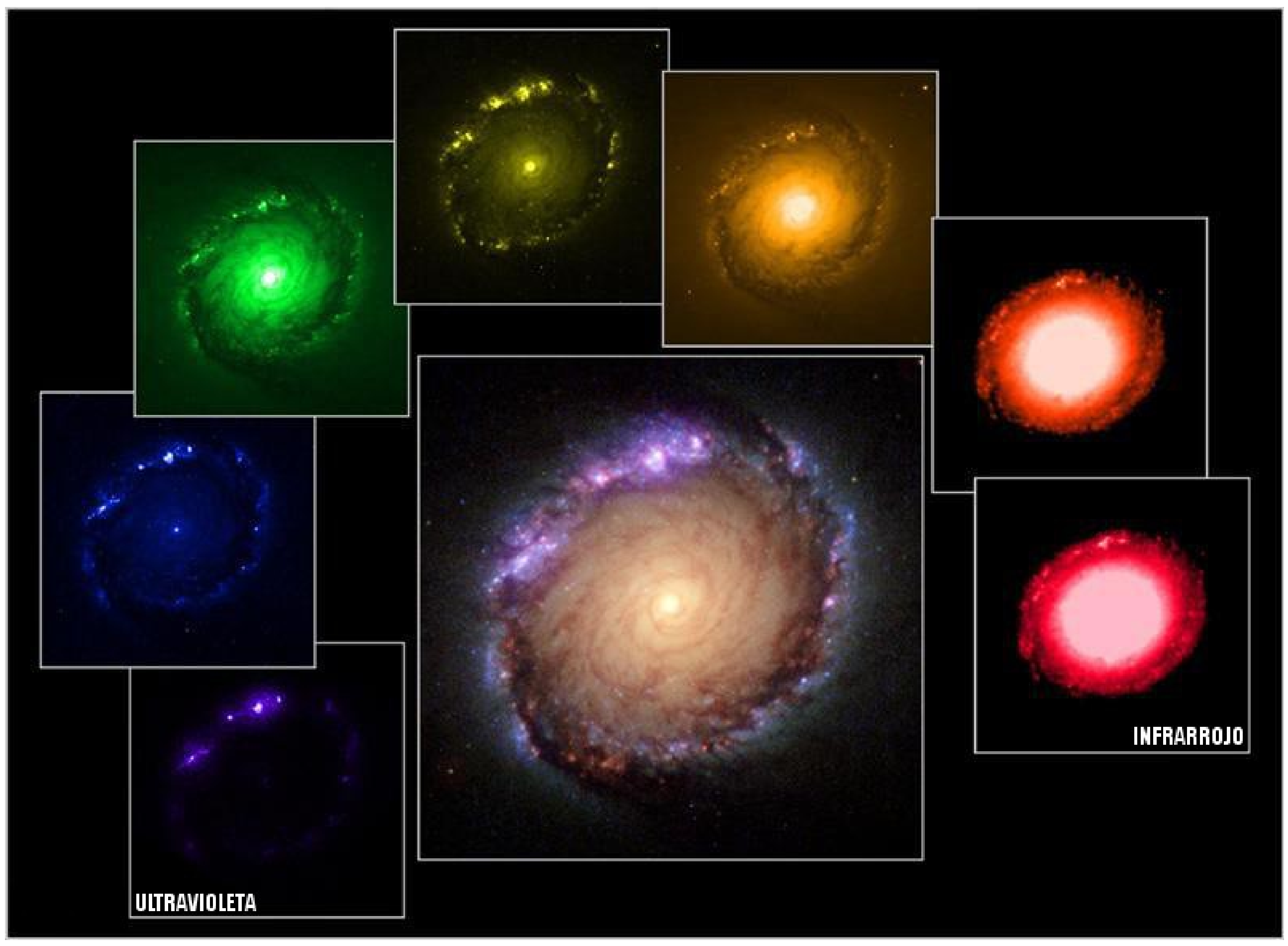
Los filtros se aplican a las imágenes con el fin de aislar las energías específicas de la radiación y bloquear a otras. Cuando se aplica un conjunto de filtros rojo-verde-azul (RGB), y las imágenes subsiguientes se colocan en capas una sobre la otra en orden cromático, se imitan los receptores RGB de nuestros ojos, y se generan imágenes de "color natural". Por lo tanto, sólo las imágenes de color natural se acercan a lo que los hipotéticos exploradores del espacio serían testigos mientras viajan al pasado por el espacio. La siguiente es una imagen en color natural:



Galaxia Activa Centaurus A - Créditos: E.J. Schreier(AUI) et al.,Hubble,NASA; Inset: NOAO

Un color representativo se utiliza para aproximar la apariencia de un objeto en longitudes de onda que no podemos ver, como infrarrojos o ultravioletas. A las longitudes de onda que no podemos ver se les asignan colores del espectro de luz visible, lo que nos permite teatralizar lo que podría verse si nuestros ojos fueran capaces de percibir otras longitudes de onda.

Imágenes en colores mejorados, o “colores falsos” no siguen el orden cromático y se crean por diversas razones, tales como el estudio de detalles estructurales finos que se perderían en el espectro de luz visible, o simplemente por razones estéticas. Las imágenes compuestas se crean cuando dos o más longitudes de onda se combinan.



Galaxia NGC 1512 - Crédito: NASA, ESA, y D. Maoz (Universidad de Tel-Aviv y Universidad de Columbia)

La colección de imágenes que se muestra en esta fotografía representan diferentes exposiciones de NGC 1512, una galaxia ubicada a unos 30 millones de años luz de distancia de la Tierra en la constelación Horologium. Mediante la asignación de color azul al espectro ultravioleta, verde para el espectro de luz visible, y rojo para los infrarrojos, los científicos fueron capaces de generar la imagen compuesta del centro con el fin de estudiar los cúmulos de estrellas cerca del núcleo de la galaxia. Las 7 imágenes circundantes abarcan la amplia gama de longitudes de onda que el telescopio espacial Hubble es capaz de capturar.

Al procesar estas imágenes, los científicos tienen cuidado de no crear detalles que no estaban presentes en los datos originales. Es necesario que el orden cromático sea cuidadosa y metódicamente aplicado a las exposiciones a fin de garantizar su valor en la investigación, de lo contrario los matices de color pueden producir una variedad de resultados. Siempre que ciertos

principios científicos sean respetados, los grupos que procesan estas imágenes tienen cierta cantidad de libertad estética. La manipulación y tratamiento de imágenes se rigen por una gran cantidad de parámetros, lo que significa que el resultado final es en gran parte un producto de la ciencia pura con un toque de gusto personal.

Referencias:

http://www.spacetelescope.org/projects/fits_liberator/improc/
http://hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2001/16/image/m/
http://observatorio.info/2010/11/centro-de-centaurus-a/
http://www.espacioprofundo.com.ar/verarticulo/Nuevas_imagenes_de_la_galaxia_del_Sombrero.html

Actividades:

Construcción de espectroscopios: http://sac.csic.es/unawe/Actividades/ESPECTROS%20EN%20TODAS%20PARTES%20REVISADO.pdf

CAPÍTULO 1: Sistema Solar y otros sistemas planetarios

"Por lo tanto, es innecesario investigar qué es lo que hay más allá del espacio celestial, vacío o tiempo. Porque hay un único espacio general, una única vasta inmensidad que podríamos llamar vacío; en ella existen innumerables orbes como ésta en la que vivimos y crecemos. A este espacio lo declaramos como infinito, ya que ni la razón, la conveniencia, la posibilidad, el sentido de percepción o la naturaleza le pueden asignar un límite. En él, existen un número infinito de mundos del mismo tipo que el nuestro"
Giordano Bruno (1548 – 1600)

1.1 HISTORIA DE LA CONCEPCIÓN DEL SISTEMA SOLAR

A lo largo de la historia de toda la humanidad han habido diferentes puntos de vista con respecto a la forma, conformación, comportamiento y movimiento de la Tierra, hasta llegar al punto en el que vivimos hoy en día. Actualmente hay una serie de teorías que han sido comprobadas científicamente y por lo tanto fueron aceptadas por los científicos de todo el mundo. Pero para llegar hasta este punto, tuvo que pasar mucho tiempo, durante el cual coexistieron varias teorías diferentes, unas más aceptadas que otras. A continuación se mencionan algunos de los aportes más sobresalientes realizados a la Astronomía en este campo.

Tales de Mileto – Siglo VII a.C.	Concibió la redondez de la Tierra. Teorizó que la Tierra era una esfera cubierta por una superficie redonda que giraba alrededor de ésta (así explicaba la noche) y que tenía algunos agujeros por los cuales se observaba, aún en la oscuridad nocturna, un poco de la luz exterior a la tierra, a la que él llamo "fuego eterno"
Discípulos de Pitágoras – Siglo V a.C.	Sostuvieron que el planeta era esférico y que se movía en el espacio.
Platón – 427 a.C. al 347 a.C.	Dedujo que la Tierra era redonda basándose en la sombra de ésta sobre la Luna durante un eclipse Lunar. Concibió a la Tierra inmóvil y como centro del Universo.
Aristóteles – 384 a.C. al 322 a.C.	Sostenía que la Tierra estaba inmóvil y era el centro del Universo
Aristarco de Samos – 310 a.C. al 230 a.C.	Sostenía que la Tierra giraba, que se movía y no era el centro del Universo, proponiendo así el primer modelo heliocéntrico. Determinó la distancia Tierra-Luna y la distancia Tierra-Sol.

Claudio Ptolomeo – (100 – 140)	Escribe el tratado astronómico “Almagesto” en el que se formula matemáticamente la teoría geocéntrica (la Tierra como centro del Universo) basada en observaciones
Nicolás Copérnico – (1477 – 1543)	Postula la teoría heliocéntrica (el Sol como centro del Universo, con los planetas girando en círculos)
Giordano Bruno – (1548 – 1600)	Postula una teoría en la que el Sol era simplemente una estrella más, y donde todas las estrellas eran soles, cada uno con sus propios planetas. Bruno veía a los sistemas de estrella/planetas como las unidades fundamentales del universo (no llegó al concepto de galaxia) separadas por vastas regiones llenas de éter. Bruno fue quemado vivo en el año 1600 por “hereje”.
Tycho Brahe – (1546-1601)	Es el último observador “a la antigua”, realiza innumerables observaciones de los astros de manera sistemática. Postula una teoría intermedia entre la de Ptolomeo y la de Copérnico.
Johannes Kepler – (1571-1630)	Era discípulo de Tycho. Luego de la muerte de éste tiene acceso a todos los datos recopilados por Tycho, con los que, en 1609, logra determinar que los planetas giran alrededor del sol en órbitas elípticas. Es considerado el 1er astrónomo de la historia ya que postula resultados basados en la observación, que inclusive van en contra de sus creencias/intuiciones.
Galileo Galilei – (1564-1642)	En 1609 construye el 1er telescopio con fines astronómicos. Observa 4 Lunas de Júpiter y las fases de Venus, con lo que corrobora la teoría heliocéntrica.
William Herschel - (1738-1822)	Observa otras galaxias, a las que denomina “Universos-Islas”. En 1790, postula que el Sol es el centro de nuestra galaxia, pero no el centro del Universo.
Harlow Shapley – (1885-1972)	A través del estudio del movimiento de estrellas de nuestra galaxia, en 1920 determina que el Sol no es el centro de la galaxia.

1.2 FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR

El sistema solar se formó hace aproximadamente 4,600 millones de años. Como todas las estrellas, el sol nace a partir de una nube de gas y polvo que empieza a colapsar. En el caso particular del Sol, esta nube de gas y polvo antes fue perturbada por la explosión de una supernova cercana que además de contribuir a la inestabilidad gravitatoria de las partículas de la nube, también aporta elementos más pesados que finalmente formarán parte del sistema solar.

Cuando comienza el colapso gravitatorio de la nube, se forma un disco y en el centro empieza a nacer una estrella. El 99% del material original va a formar la estrella central. Los planetas se forman con el remanente que reposa sobre el disco. Los planetas cercanos al Sol retienen un núcleo sólido formado por elementos que tienen alto punto de fusión (como silicio y otros metales), mientras que los otros elementos más livianos son evaporados debido a las altas temperaturas. Los planetas gigantes, Júpiter y Saturno, ubicados lo suficientemente lejos de la estrella central, logran mantener los elementos en estado gaseoso, mientras que Urano y Neptuno contienen núcleos de Hidrógeno en forma de hielo además de grandes cantidades de otros gases.
Luego de la formación de los planetas, se formaron los satélites de estos. Los satélites más cercanos a los planetas gaseosos gigantes se formaron de la misma nube inicial de gas y polvo, mientras que los más alejados son capturados por efecto de la gravedad del mismo planeta. Los satélites de los planetas de menor tamaño son formados por colisiones (como el caso de la Luna) o por captura de cuerpos menores (como el caso de los satélites de Marte).

Para calcular la edad del sistema solar se utiliza la técnica llamada “fechado radiométrico”. Esta técnica estima la edad en base al decaimiento radiactivo de ciertos elementos químicos – por ejemplo la técnica conocida como “carbono 14” sólo es útil para edades menores que 60 mil años, mientras que para datar objetos de edades del orden de miles de millones de años, el elemento químico más utilizado es el uranio. La edad del sistema solar se determina a partir del análisis de meteoritos encontrados en la superficie de la Tierra. Los meteoritos más antiguos se tienen que haber formado durante la condensación temprana de la nebulosa solar. Los meteoritos más viejos encontrados en la Tierra tienen una edad de 4,600 millones de años.

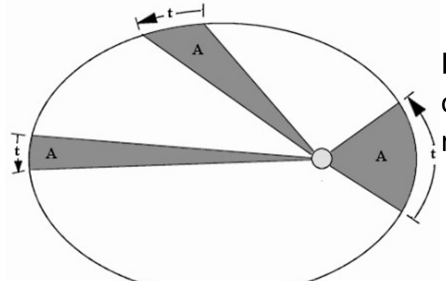
1.3 MOVIMIENTO DE LOS OBJETOS DEL SISTEMA SOLAR

Johannes Kepler, trabajando con datos cuidadosamente recogidos por Tycho Brahe sin la ayuda de un telescopio, desarrolló -entre los años 1609 y 1619- tres leyes que describen el movimiento de los planetas en el cielo:

1era ley*: Los planetas se desplazan alrededor del Sol describiendo órbitas elípticas, estando el Sol situado en uno de los focos*

Como consecuencia de la 1era ley de Kepler, hay un momento en el que el planeta se encuentra más próximo al Sol y otro en el que está más alejado. El punto de máxima aproximación al Sol se denomina Perihelio, y el punto de máximo alejamiento se denomina Afelio. En particular, la Tierra pasa por el Perihelio alrededor del 4 de Enero, y pasa por el Afelio alrededor del 4 de Julio.

2da ley*: el radio vector que une un planeta y el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales*



De esta manera se indica que la velocidad del planeta en su órbita no es constante y cuando está en el afelio su recorrido es más lento que cuando está en el perihelio.

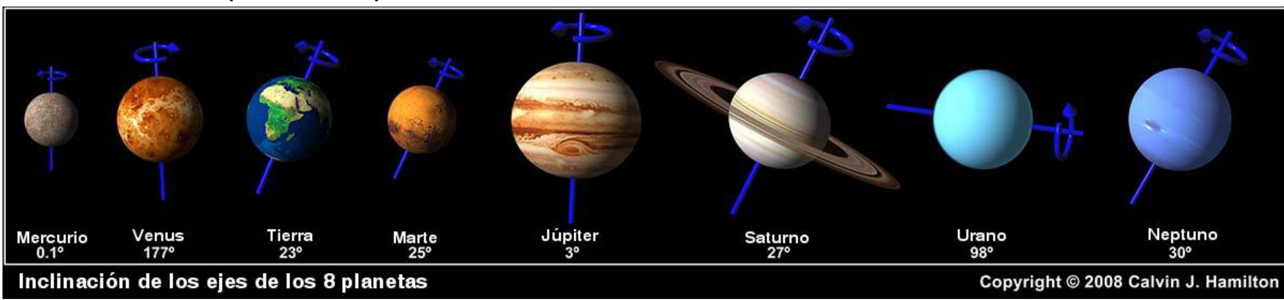
3ra ley*: para cualquier planeta, el cuadrado de su período orbital es directamente proporcional al cubo de la longitud del semieje mayor de su órbita elíptica* **P^2/ a^3=constante**

Esta ley implica que el tiempo que un planeta demora en orbitar al Sol incrementa con el radio de su órbita (entre más cercano esté el planeta al Sol, gira más rápido y viceversa).

1.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS OBJETOS DEL SISTEMA SOLAR

El sistema solar está formado por una estrella, 8 planetas, 5 planetas enanos, asteroides, cometas y rocas remanentes de la nube donde se formó el sistema solar.

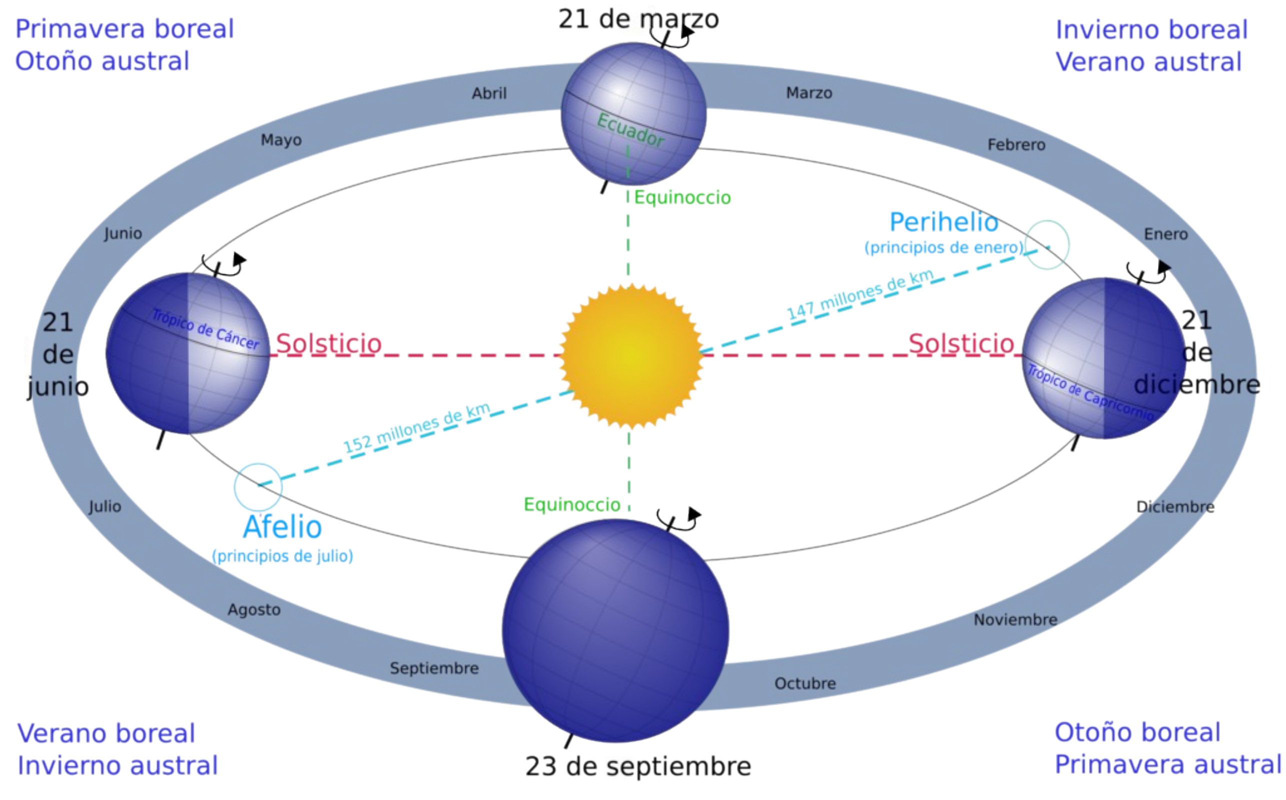
A continuación se encuentran algunas definiciones útiles que se utilizarán más adelante:
Año: tiempo que le lleva a un objeto completar una órbita alrededor del Sol (*traslación*).
Día: tiempo que le lleva a un objeto completar una vuelta sobre su propio eje (*rotación*).
Velocidad de la luz: Si bien en las escalas humanas pareciera que la luz se traslada de forma instantánea, o dicho de otra manera, que la velocidad de la luz es infinita, esto no es así: la luz recorre 300 mil kilómetros en un segundo, es decir, la velocidad de la luz es de 300,000 km/seg.
Año luz: distancia recorrida por la luz durante un año (de manera similar se define minuto luz, segundo luz, etc). Un año luz equivale a 9.460.800.000.000 kilómetros.
Unidad Astronómica (UA): distancia entre la Tierra y el Sol, equivale a 150 millones de kilómetros = 8 minutos luz
Estaciones: períodos en los cuales los rayos solares inciden con un ángulo distinto sobre la superficie del planeta debido a la inclinación del eje de rotación del planeta respecto de su plano de traslación (órbita). En la siguiente imagen se muestra el ángulo de inclinación del eje de rotación de cada planeta respecto de su órbita:



Mercurio, Venus y Júpiter tienen una inclinación muy pequeña, es por esto que no existen estaciones en esos planetas. En la Tierra, Marte, Saturno y Neptuno el eje está inclinado lo suficiente como para dar lugar a las cuatro estaciones que conocemos. Urano tiene el eje de rotación casi horizontal, por lo que en los polos se experimentan cambios radicales en las estaciones: son 42 años de invierno (y de noche) y 42 años de verano (y de día). Cuando los

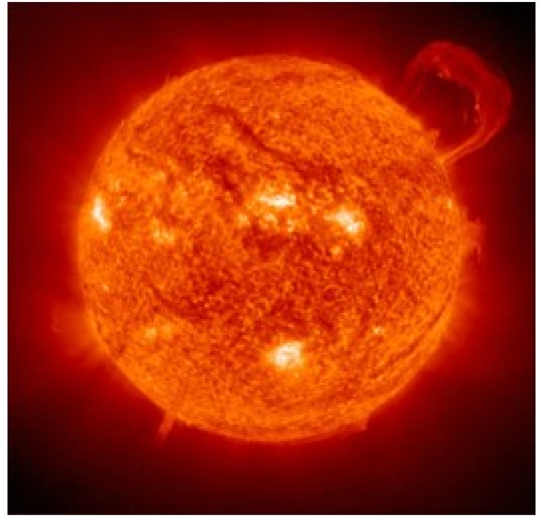
rayos solares inciden de manera perpendicular al eje de rotación se denomina equinoccio (inicio de primavera y otoño), cuando los rayos solares inciden con la máxima oblicuidad (inclinación) respecto del eje de rotación se denominan solsticios (inicio de verano e invierno).

En la siguiente imagen se muestra la posición de la Tierra en 4 momentos distintos sobre su órbita. En los solsticios (izquierda y derecha) los rayos solares inciden de manera más directa sobre uno u otro hemisferio, mientras que en los equinoccios (arriba y abajo), los rayos solares inciden de igual manera en ambos hemisferios. Las fechas son para el año 2014 (cada año varían levemente)



Fuente Wikipedia – Créditos: Frank Horst/Gothika/Díaz-Giménez

1.4.1 SOL



Créditos: Solar Dynamics Observatory (SDO)

Es la estrella más cercana a la Tierra, tiene ~4,600 millones de años, y se estima que está en la mitad de su vida. El tamaño y la masa de esta estrella está dentro de lo que se considera una estrella normal (no es ni la más grande, ni la más chica; no es ni la más luminosa ni la menos luminosa). De acuerdo con la masa de una estrella se sabe cómo será su muerte. El Sol verá el fin de su vida convirtiéndose en una gigante roja, que finalmente libera su materia al medio interestelar como nebulosa planetaria y luego su núcleo se convierte en enana blanca (VER CAPÍTULO 2 - EVOLUCIÓN DE LAS ESTRELLAS Y EL FINAL DEL SOL).

1. El Sol contiene aproximadamente el 99% de toda la masa del Sistema Solar.
2. Como todas las estrellas, el Sol está formado principalmente por Hidrógeno y Helio.
3. La temperatura en la superficie del Sol es de ~5,600º C.
4. El Radio del Sol es de 700 mil kilómetros, eso es 110 veces el Radio de la Tierra
5. Se encuentra a 150 millones de km de la Tierra (1 Unidad Astronómica=1UA), es decir que a la luz le toma 8 minutos llegar hasta nosotros.
6. El ciclo de actividad solar tiene un período de ~11 años, en el que se suceden máximos y mínimos de actividad y se invierte la polaridad del campo magnético solar. En la superficie del Sol pueden verse las llamadas “Manchas Solares” que son zonas más frías desde donde el Sol eyecta partículas cargadas electromagnéticamente, que vuelven a caer hacia el Sol siguiendo las líneas del campo magnético. La frecuencia de manchas solares es mayor a medida que el ciclo solar se aproxima a un máximo. También durante los máximos las manchas se distribuyen más próximas al ecuador solar. La observación de las manchas solares sirve además para estudiar la rotación del Sol.
7. Durante la actividad en la superficie del sol se producen llamaradas y eyecciones de masa coronal, en las que algunas de esas partículas cargadas electromagnéticamente son “sopladas” por los vientos solares y llegan hasta la Tierra atraídas por los polos magnéticos (Norte y Sur). La interacción de esas partículas con nuestra atmósfera produce el efecto conocido como auroras polares (boreales y australes). En general, la gente piensa que estas auroras son más comunes en el hemisferio Norte que en el Sur. Esta percepción sólo se debe a que la zona del hemisferio Norte donde son comúnmente visibles las auroras se encuentra mucho más poblada que la misma región del hemisferio Sur, pero la realidad es que las auroras son tan frecuentes en el Norte como en el Sur. En el año 1859 se pudieron observar auroras hasta en lugares como Madrid, Roma, La Habana y Hawaii.

1.4.2 MERCURIO



Créditos: NASA

1. Distancia al Sol: 0.4 UA =57 millones de km = 3 minutos luz
1. No tiene satélites
2. Atmósfera muy tenue (helio, hidrógeno, oxígeno y sodio), por lo que su superficie tiene muchos cráteres debido al impacto de objetos.
3. La falta de atmósfera hace que las temperaturas en el día y la noche sean muy diferentes: durante el día (cara que le da el sol) alcanzan los 430ºC, mientras que a la noche (cara opuesta al sol) la temperatura es de -185ºC (185 ºC bajo cero!!!)
4. El día en Mercurio tiene una duración de 59 días terrestres (tiempo que le toma realizar una rotación sobre su propio eje)
5. El año en Mercurio tiene una duración de 88 días terrestres (tiempo que le toma realizar una traslación alrededor del Sol) – es decir que Mercurio realiza 3 giros sobre su eje cada 2 vueltas alrededor del Sol – en 2 años tiene 3 días!!!
6. El radio de Mercurio es un tercio del radio de la Tierra (ver foto de comparación)
7. La gravedad en la superficie de mercurio es 0,38 veces la de la Tierra.
8. Exploración Espacial: Mariner 10 (1975) y Messenger (2008 hasta la actualidad).

1.4.3 VENUS



Créditos: NASA

1. Conocido como 'lucero del alba' y 'lucero vespertino', es el objeto más brillante del cielo después de la Luna
2. Distancia al Sol: 0.7 UA=100 millones de km = 5,5 minutos luz
3. No tiene satélites
4. Tiene una atmósfera muy densa, la presión atmosférica (peso de la atmósfera) es 90 veces más grande que en la Tierra, razón por la cual las naves que se asentaron sobre la superficie de Venus duraron apenas unos minutos antes de ser aplastadas por el peso de la atmósfera.
5. La presencia de grandes cantidades de dióxido de Carbono en la atmósfera hace que se produzca un fuerte efecto invernadero, por lo que el Sol no alcanza la superficie, y las temperaturas en la superficie de Venus son de 460ºC
6. Tiene nubes de azufre y de ácido sulfúrico (lluve ácido sulfúrico!!!)
7. La rotación de Venus es retrógrada, por lo que el Sol sale por el Oeste y se pone por el Este
8. El día de Venus tiene una duración de 243 días terrestres
9. El año de Venus tiene una duración de 224 días terrestres
10. El radio de Venus es similar al radio de la Tierra (0.95 veces el radio de la tierra, ver foto de comparación)
11. La gravedad en la superficie de Venus es de 0,9 veces la de la Tierra.
12. Exploración Espacial: Venera 1 (1961), Mariner 2 (1962), Venera 3 (1966), Venera 4 al 8 (1967 – 1972), Venera 9 (1978), Pioneer-Venus (1978 a 1992), Magallanes (1990). En la actualidad: Venus-Express.

1.4.4 TIERRA

1. Distancia al Sol: 150 millones de km = 1 UA = 8 minutos luz
2. Tiene un satélite: Luna
3. Radio = 6,400 km
4. El 70% de su superficie es agua. El agua de la Tierra provino principalmente del choque de asteroides llamados "condritas carbonáceas", que provienen de la región a partir de la cual el agua está congelada, es decir, a partir del cinturón de asteroides (no confudir con cometas).
5. Temperatura media=17ºC
6. La Atmósfera tiene 78% de Nitrógeno, 21% de Oxígeno, y 1% de otros gases
7. La inclinación de su eje de rotación respecto del plano sobre el que se traslada hace que los rayos solares incidan sobre la superficie terrestre con distinto ángulo en distintas épocas dando lugar a las 4 estaciones: primavera-verano-otoño-invierno (Ver figura en página 14)

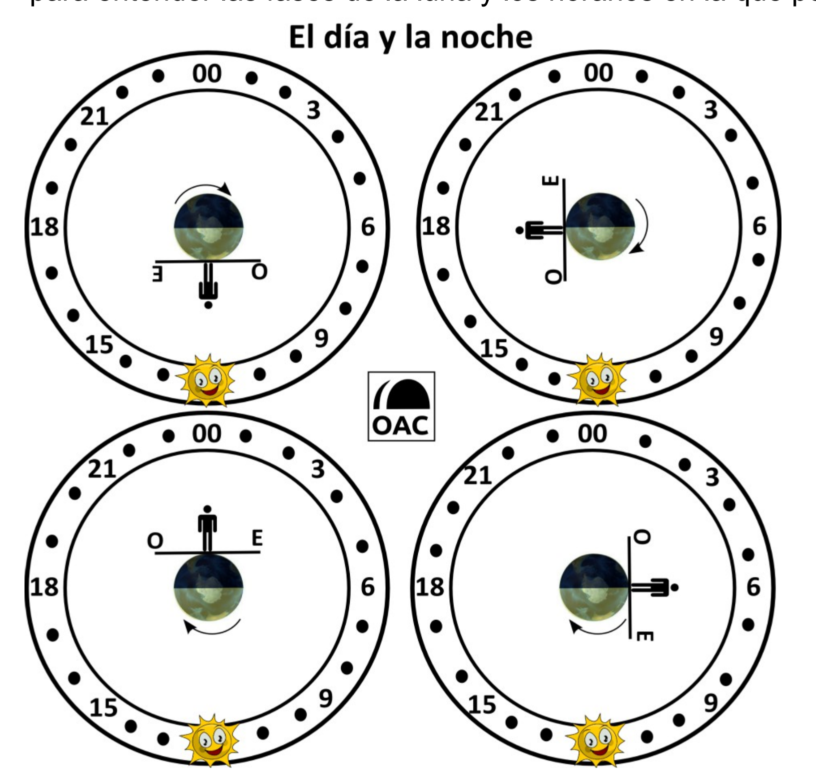
LUNA



Créditos: NASA

1. Distancia a la Tierra: 385 mil km = 1,3 segundos luz
2. Realiza una órbita alrededor de la Tierra en 28 días
3. Realiza una rotación sobre su propio eje en 28 días
4. Siempre muestra la misma cara hacia la Tierra (debido a la rotación síncrona)
5. Posee una atmósfera muy tenue, por lo cual la superficie de la Luna ha sufrido numerosos impactos de objetos que dejaron cráteres en ella. La cara oculta es la que más cráteres presenta
6. Radio de la Luna: 1,740 km = ¼ del radio de la Tierra (se pueden comparar las dimensiones como una pelota de básquet para la Tierra y una pelota de tenis para la Luna, en esa escala estarían separadas por ~10 metros)
7. La gravedad sobre la superficie de la Luna es de 0.17 veces la de la Tierra.
8. La Luna Se formó como resultado de una colisión de un objeto del tamaño de Marte con la Tierra, en la época de formación del sistema solar. Esa colisión, además de dar lugar a la formación de la Luna, produjo la inclinación del eje terrestre (estaciones), y puede haber modificado la atmósfera primitiva de la Tierra. Una vez consolidado el sistema Tierra-Luna, la rotación terrestre disminuyó, pasando de 4 hs hasta las actuales 24hs
9. Sin Luna no existirían las estaciones en la Tierra, y el día sería extremadamente corto (por ejemplo, de existir las plantas no tendrían tiempo de hacer fotosíntesis), y probablemente tampoco existiría vida en la Tierra ya que no se hubiera producido el cambio en la atmósfera terrestre
10. Cada año la Luna se aleja 4cm de la Tierra, lo cual contribuye a frenar la rotación terrestre en milésimas de segundos por día (se alargan los días)
11. Exploración Espacial: Se enviaron 97 misiones a la Luna (no todas exitosas). Entre las más famosas, fueron 24 misiones Lunik (URSS) y 17 misiones Apolo (USA). Sólo 12 hombres caminaron sobre la superficie lunar. 300kg de rocas de la Luna fueron traídas a la Tierra por las misiones tripuladas. En la actualidad hay varios orbitadores dedicados al estudio de la luna (ejemplo: Lunar Reconnaissance Orbiter – LRO) y un robot explorador chino (Chang'e 3 – Yutu)

12. Presenta cuatro fases que se producen de acuerdo con la configuración del sistema Sol-Luna-Tierra, por lo que veremos iluminadas diferentes porciones de la Luna. Cada día la luna se desplaza sobre su órbita alrededor de la Tierra, por lo que cada día es diferente el porcentaje de su superficie que vemos iluminado, y la hora en la que la vemos en el cielo. En las siguientes imágenes se muestran esquemas de la configuración Sol-Tierra-Luna para entender las fases de la luna y los horarios en la que podemos verla en el cielo:

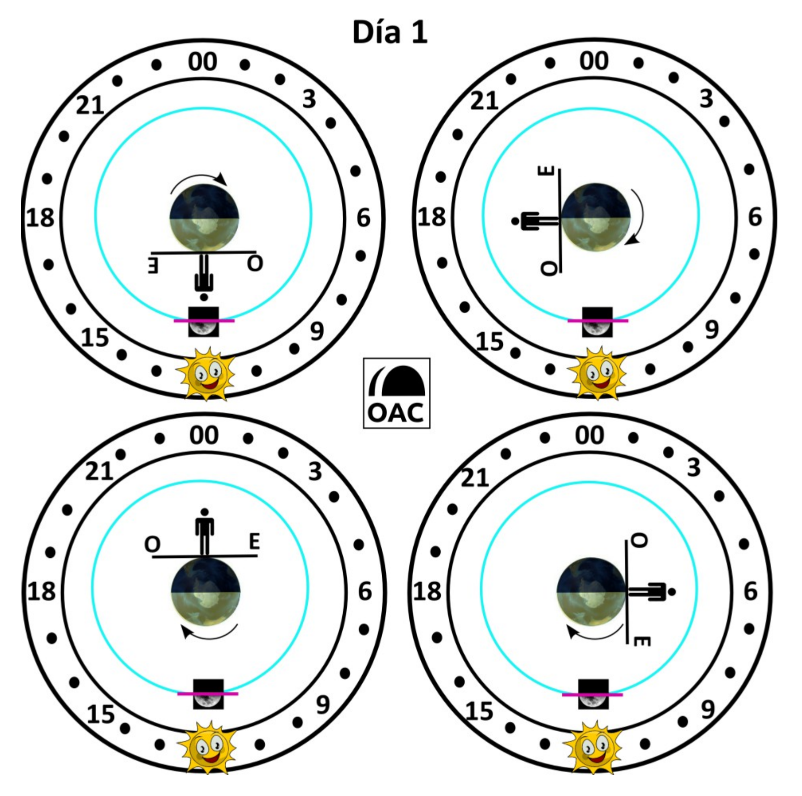


En este esquema representamos una rotación de la tierra sobre su propio eje, es decir: un día en la Tierra. Vamos a mirar el movimiento de la tierra desde el polo Sur, por lo que la rotación terrestre es en sentido horario. En 24 horas completará una vuelta sobre su eje. Hemos ubicado a un observador sobre la superficie en el ecuador terrestre, y marcamos con una línea su horizonte, con los puntos cardinales Este (E) y Oeste (O). Para observadores en otras latitudes (como nosotros) los horarios variarán un poco, pero no nos molesta utilizar estas horas como una primera aproximación para entender la relación entre las fases de la luna y las horas de observación.

Para el observador del gráfico, los números en el círculo representan su reloj (un reloj de 24 horas), y la cabeza del observador funciona como la aguja del reloj que nos apunta hacia la hora del día.

En el primer reloj el Sol está justo sobre la cabeza del observador y son las 12hs, hora en la que el sol marca el mediodía solar. En el siguiente reloj, la tierra ha girado ¼ sobre su eje, y para el observador son las 18hs. Fíjense que a esa hora el observador ve al sol hacia el Oeste (la puesta del sol). 6 horas más tarde, ya que la tierra siguió girando, el observador está justo del lado opuesto a donde se encuentra el Sol, y está del lado completamente oscuro de la tierra: es la medianoche (00hs). El último reloj nos muestra la posición del observador 6hs más tarde: las 6 de la mañana. A esa hora, ya puede ver al Sol apareciendo sobre el Este. Un cuarto de vuelta más y regresará a la posición del primer reloj. En la siguiente imagen, agregamos la Luna en su órbita a lo largo de un día terrestre.

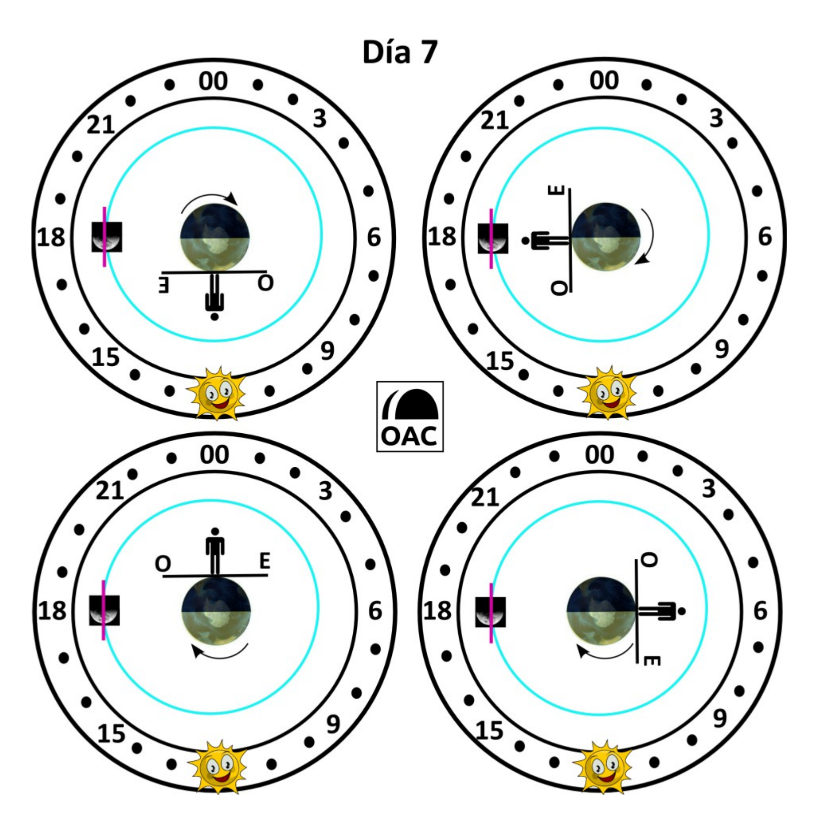
Aquí mostramos el mismo esquema que en la imagen anterior: un día desde la Tierra. Pero además hemos incluido a la Luna en su órbita en un día del mes que llamaremos día 1. El observador desde la Tierra sólo puede ver la porción iluminada de luna que esté apuntando hacia él, es decir lo que está de la línea magenta hacia adentro de la órbita lunar.



En este día, la Luna y el Sol están sobre la cabeza del observador a las 12 del mediodía. La parte iluminada de la Luna es justamente la porción que no es visible para el observador, por lo que desde la Tierra no podremos ver a la Luna en el cielo: es la fase que llamamos NUEVA. Siguiendo la rotación terrestre, esta luna se oculta en el oeste a las 18hs, y aparece por el Este a las 6 de la mañana. Es decir, durante todo el día acompaña al Sol en el cielo.

Aclaración: esto no es un eclipse. En este esquema hemos proyectado la órbita de la luna en el plano de la imagen, pero la órbita lunar tiene una inclinación respecto de nuestra pantalla, por lo que no se atraviesa en la línea de la visual hacia el sol.

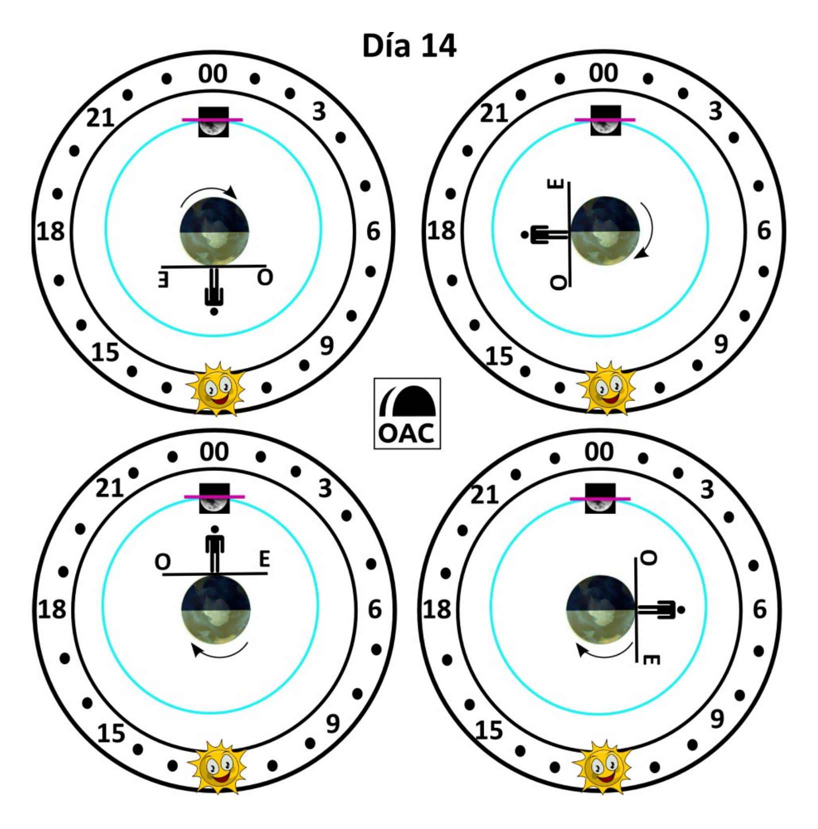
La luna cada día que pasa se irá moviendo sobre su órbita. Avanza casi 1 hora de nuestro reloj por día (50 minutos). Al cabo de 7 días ocupará la posición de la imagen siguiente, y por supuesto, el porcentaje que vemos iluminado irá cambiando cada día.



Aproximadamente 7 días después de la imagen anterior la Luna se encontrará en la posición que marcamos en esta imagen. La fracción de Luna que podemos ver es la parte iluminada que está hacia adentro de la línea magenta, es decir que este día veremos un cuarto de la Luna. Está en la fase que llamamos CUARTO CRECIENTE (vemos una C en el cielo).

A las 12 del mediodía (el primer reloj) el observador verá que la Luna está apareciendo sobre su horizonte Este, a las 18hs la verá sobre su cabeza (segundo reloj) y a las 00hs la verá esconderse por el Oeste (tercer reloj). A las 6 de la mañana, ni rastros de esta luna en el cielo.

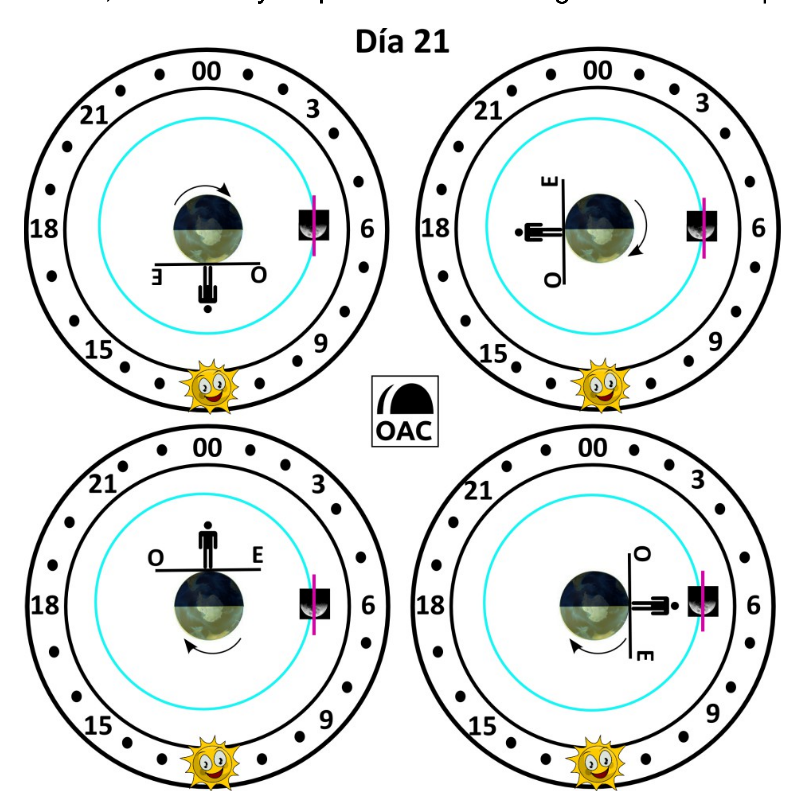
Dejemos avanzar a la luna sobre su órbita otros siete días antes de pasar a la siguiente imagen (no, no!!! hagamos de cuenta que ya pasaron los 7 días y vamos a la otra imagen ahora).



Cuando la luna está en esta posición respecto del Sol, la fracción que vemos iluminada de ella es toda la cara que da hacia la Tierra, vemos completa una mitad de Luna, es lo que llamamos LUNA LLENA.

El Observador al mediodía no verá para nada a esta luna y tendrá que esperar a que la tierra siga girando para recién a las 18hs verla aparecer por su horizonte Este. A la medianoche tendrá a la Luna Llena sobre su cabeza, y se esconderá por el Oeste cuando sean las 6 de la mañana.

Si dibujamos la posición de la luna al día siguiente, tendrá que haber avanzando casi 1 hora de nuestro reloj sobre su órbita ¿a qué hora saldrá, culminará y se pondrá esa luna? ¿Cómo varía el porcentaje iluminado?

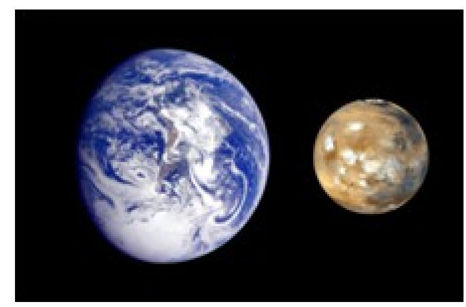


En esta posición, 7 días después de la imagen anterior, nuevamente desde la Tierra sólo vemos la cuarta parte de la Luna iluminada: es el CUARTO MENGUANTE (vemos una D en el cielo).

El observador al mediodía ve que esta luna se está escondiendo en el horizonte Oeste. A la medianoche la verá apareciendo por el Este y la verá sobre su cabeza a las 6 de la mañana, para esconderse a las 12 del mediodía. Esta es la fase en la que normalmente nos sorprendemos de encontrarnos con la Luna en el cielo por ejemplo a las 10 de la mañana.

Una semana más tarde, la luna volverá a ocupar la posición sobre su órbita como en la primera imagen del ciclo que compartimos, y el ciclo lunar vuelve a comenzar.

1.4.5 MARTE



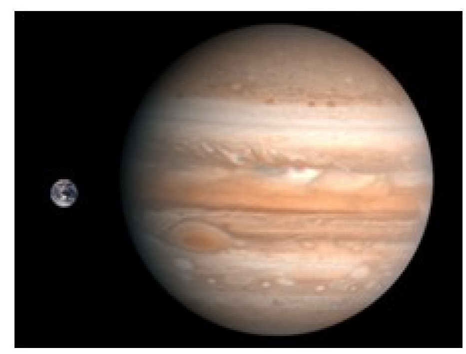
Créditos: NASA

1. Distancia al Sol: 1,5 UA = 12,4 minutos luz
2. Posee 2 satélites: Fobos (~20km de diámetro) y Deimos(~15km de diámetro). Estos satélites fueron asteroides que fueron capturados por Marte. Ambos se trasladan alrededor de Marte en sentido retrógrado (horario, al contrario de lo que pasa con la mayoría de los objetos en el sistema solar)
3. La atmósfera de Marte es tenue, por lo que la presión atmosférica es una centésima parte de la de la Tierra. Tiene 95% de Dióxido de Carbono, y posee mil veces menos Ozono que la de la Tierra, por lo que casi toda la radiación UV del Sol alcanza la superficie
4. Marte es mucho menos denso que la Tierra, eso hace que la fuerza de gravedad en Marte sea menor que en la Tierra, la gravedad en la superficie de Marte es 0,38 veces la de la Tierra, por lo que el peso de una persona en Marte sería 1/3 del peso que tiene en la Tierra
5. La temperatura media en la superficie de Marte es de -55ºC (20ºC de día, -80ºC de noche)
6. El día en Marte tiene una duración de 24hs 40m
7. El año en Marte tiene una duración de 687 días
8. El Radio de Marte es la mitad del radio de la Tierra (ver foto de comparación)
9. Exploración Espacial: 12 misiones se enviaron a Marte desde 1964 hasta 2013, sumando un total de 48 lanzamientos por parte de E.E.U.U, Rusia, China, Japón, Unión Europea e India (Marsnik, Mariner, Viking, Pathfinder, Odissey, Mars Reconnaissance, Spirit, Opportunity, Phoenix, Curiosity, Maven, entre otras)
10. Entre los descubrimientos más relevantes que hizo el explorador Curiosity durante el año 2013 se pueden mencionar:
    *Un lugar adecuado para albergar vida: El Marte primitivo puede haber tenido la química adecuada para soportar microbios. El Curiosity encontró Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Fósforo y Azufre - ingredientes claves necesarios para la vida – al estudiar muchas rocas formadas en agua. La primera muestra tomada del interior de una roca también reveló minerales de arcilla y no demasiada sal, lo que sugiere que agua fresca, posiblemente bebible, alguna vez estuvo presente allí.
    * Evidencia de un antiguo cauce de agua: Rocas redondeadas y suaves encontradas por el Curiosity probablemente rodaron aguas abajo por al menos unos cuantos kilómetros. Ellas parecen una vereda rota, pero son en realidad capas de roca expuesta hechas de fragmentos más pequeños pegados. Ellas cuentan una historia de un flujo constante de agua de profundidad de hasta las rodillas.
    * La radiación podría suponer un riesgo para la salud humana: Durante su viaje a Marte, el Curiosity experimentó niveles de radiación que exceden los límites aceptables por la NASA para los astronautas. La NASA utilizará los datos del Curiosity para diseñar misiones que sean seguras para los exploradores humanos.
    *Ausencia de Metano (hasta ahora): El Curiosity olfateó el aire marciano y no encontró presencia de metano. Dado que los organismos vivos producen metano, los científicos estaban ansiosos por ver si podían encontrarlo en Marte, aunque la búsqueda continúa.
    *Gran diversidad de entornos cerca de la zona de descenso: Los científicos no esperaban la riqueza y diversidad de suelo y tipos de rocas en el cráter Gale. El Curiosity ha encontrado gravas, depósitos, un tipo inusual de una posible roca volcánica, dunas de arena movidas por agua, lutitas y grietas llenas de venas minerales. Todos estos son indicios de un pasado acuoso en Marte.

1.4.6 CINTURÓN DE ASTEROIDES

1. Son rocas que orbitan alrededor del Sol
2. Distancia al Sol: desde 2 UA hasta 4 UA = desde 16,6 a 33 minutos luz
3. Existen trillones de asteroides catalogados. Más de 150 millones de ellos tienen diámetros mayores que 100 mts. Más de 2 millones tienen diámetros mayores que 1km
4. Contrariamente a lo que podría pensarse, el cinturón de asteroides está en su mayor parte vacío. Los asteroides están diseminados en un volumen tan grande que sería muy difícil atravesar el cinturón y encontrarse con uno de ellos sin pretenderlo.
5. El cinturón de asteroides se formó en la nebulosa protosolar junto con el resto del Sistema Solar. Los fragmentos de material contenidos en la región del cinturón hubieran formado un planeta, pero las perturbaciones gravitacionales de Júpiter, el planeta más masivo, produjeron que estos fragmentos colisionaran entre sí a grandes velocidades y no pudieran agruparse, resultando en el residuo rocoso que se observa en la actualidad

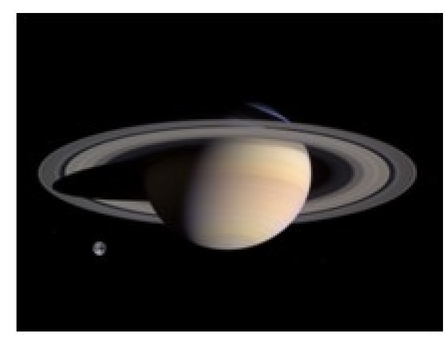
1.4.7 JÚPITER



Créditos: NASA

1. Es el planeta más grande del Sistema Solar
2. Es un planeta gaseoso (no tiene una superficie sólida como los planetas anteriores)
3. Distancia al Sol: 5 UA= 41,5 minutos luz
4. Tiene 67 satélites. 4 de ellos fueron descubiertos por Galileo, por lo que son llamados satélites Galileanos: Ío, Europa, Calisto y Ganímedes. Ío es un mundo volcánico; Europa es un mundo congelado; Ganímedes es el satélite más grande del Sistema Solar (tamaño parecido a la Tierra), tiene un núcleo de hierro y campos magnéticos; y Calisto es el objeto con más cráteres en el Sistema Solar
5. Júpiter está formado principalmente por Hidrógeno y Helio
6. Presenta anillos, que fueron observados por primera vez en 1979 por la sonda Voyager
7. Presenta una tormenta meteorológica que está permanentemente en la misma zona (la gran mancha roja), cuyo diámetro es 3 veces el diámetro de la Tierra
8. El día en Júpiter tiene una duración media de 9hs, aunque los distintos gases tienen rotaciones diferenciadas, por lo que algunas franjas rotan más rápido que otras
9. El año de Júpiter es de 12 años terrestres
10. El radio de Júpiter es 11 veces el radio de la Tierra (ver foto de comparación)
11. La gravedad en Júpiter es de 2,4 veces la de la Tierra.
12. Exploración Espacial: Pioneer 10 y 11 en 1973; Voyager 1 y 2 en 1979; Galileo en 1995; Cassini-Huygens en 2000 y New Horizons en 2007.

1.4.8 SATURNO



Créditos: NASA

1. Distancia al Sol: 9,5 UA = 1,31 horas luz
2. Tiene 62 satélites. Entre los más interesantes se pueden nombrar dos de ellos: Titán, es el único satélite del sistema solar que posee una atmósfera densa compuesta en un 90% por Nitrógeno (similar a la Tierra) y es el segundo satélite más grande del Sistema Solar; y Encélado que posee atmósfera compuesta por metano, similar a la atmósfera primitiva de la Tierra, y presenta géiseres de agua
3. Posee anillos visibles desde la Tierra. La presencia de estos anillos tienen un origen similar al cinturón de asteroides: en la posición donde se encuentran los anillos debería haberse formado un satélite de Saturno, pero las fuerzas gravitatorias del planeta no dejaron que las partículas se agruparan y lo formaran, y quedaron restos de roca y hielo orbitando alrededor del planeta
4. Saturno es un planeta gaseoso que está formado principalmente por Hidrógeno y Helio
5. Ell día en Saturno tiene una duración de 10 horas
6. El año de Saturno tiene una duración de 29,5 años terrestres
7. El radio de Saturno es 9 veces el radio de la Tierra (ver foto de comparación)
8. La gravedad en Saturno es muy similar a la de la Tierra, 1,1 veces la gravedad de la Tierra. Esto se debe a que Saturno tiene una densidad muy baja, menor que la del agua (si pudiéramos ponerlo en una piscina gigante llena de agua, Saturno flotaría)
9. Exploración Espacial: Pioneer 11 en 1979; Voyager 1 y 2 en 1980 y 1981; Cassini-Hyugens en 2004.

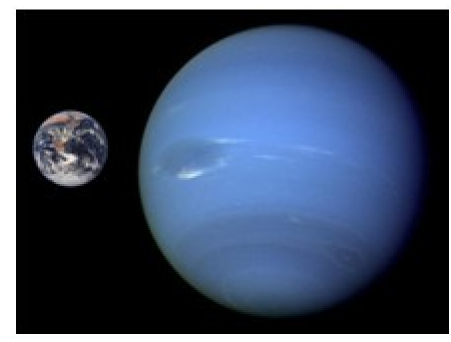
1.4.9 URANO



Créditos: NASA

1. Es el primero de los planetas que no era conocido en la antigüedad. Recién en 1781 se lo catalogó por primera vez, erróneamente como cometa
2. Distancia al Sol: 19 UA = 2,6 horas luz
3. Tiene 27 satélites. Tienen nombres de algunos personajes de Shakespeare y de Alexandre Pope (por ej.: Ariel, Oberón, Umbriel, Titania y Miranda)
4. Presenta anillos formados principalmente por polvo, por lo que no son visibles en el rango óptico. Estos anillos se encuentran con una rotación de 90º respecto del plano de desplazamiento (Ver foto). La explicación más aceptada de por qué el eje de rotación de este planeta está "caído" y la rotación es retrógrada, es que se debe a que sufrió un choque con algún objeto de gran tamaño
5. Es un planeta gaseoso. Este planeta es uno de los llamados "gigantes helados", ya que presenta un núcleo congelado. Está formado principalmente por metano, a lo que debe su coloración azul (el mismo gas que tenemos en las cocinas de nuestros hogares!!!)
6. El día en Urano tiene una duración de -17 hs (retrógrada)
7. El año tiene una duración de 84 años terrestres
8. El Radio de Urano es 4 veces el radio de la Tierra (ver foto de comparación)
9. La gravedad en Urano es 0,9 veces la de la Tierra.
10. Exploración espacial: la única sonda que llegó a este planeta fue la Voyager 2, en 1985.

1.4.10 NEPTUNO



Créditos: NASA

1. Primer cuerpo predicho matemáticamente: mientras se estudiaba el movimiento de Urano, se encontraban resultados inesperados, que sólo podían explicarse si existía otro cuerpo de tamaño similar que estuviera perturbando su órbita. Así, se predijo a qué distancia debía encontrarse el cuerpo perturbador, y se apuntaron los telescopios específicamente para encontrarlo. En 1846 se descubrió el 8vo planeta. (Galileo ya lo había observado y catalogado erróneamente como estrella)
2. Distancia al Sol: 30 UA = 4.15 horas luz
3. Neptuno tiene 13 satélites. Tritón y Nereida fueron descubiertos desde la Tierra, mientras que la sonda Voyager 2 descubrió otros 6, y el telescopio espacial Hubble descubrió los restantes 5 satélites
4. Tiene anillos
5. Es otro de los planetas llamados Gigantes gaseoso helado. Está formado principalmente por metano (azul)
6. Es el planeta con vientos más fuertes en todo el sistema solar, llegando a observarse vientos de hasta 2 mil km/h
7. El día tiene una duración de 16 horas
8. El año de Neptuno dura 165 años terrestres
9. El radio de Neptuno es cuatro veces mayor que el radio de la Tierra (ver foto de comparación)
10. La gravedad en Neptuno es 1,14 veces la de la Tierra.
11. Exploración espacial: Voyager 2 en 1989

1.4.11 OBJETOS TRANSNEPTUNIANOS (CINTURÓN DE KUIPER Y NUBE DE OORT)

Más allá de la órbita de Neptuno, se encuentran numerosas rocas de hielo y polvo que orbitan alrededor del Sol. Esas rocas están distribuidas principalmente en dos regiones:
- El cinturón de Kuiper, ubicado a 50 UA del sol (= 7 horas luz).
- La nube de Oort, que abarca desde las 2 mil a las 50 mil UA (~ 1 año luz desde el sol).



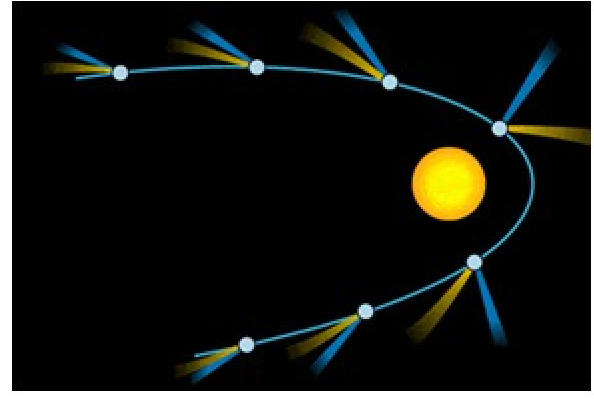
Créditos: W. Liller / NASA



Créditos: Geoff Chester

Es desde estas zonas de donde habitan los cometas que ingresan al sistema solar luego de haber sido perturbados. Los cometas que parten desde el cinturón de Kuiper son los que tienen período corto (cientos de años), como por ejemplo el cometa Halley (imagen izquierda), que tiene un período de 76 años (1986 – 2061); mientras que los cometas que se originaron en la nube de Oort presentan períodos largos (miles de años), como por ejemplo el cometa Hale Bopp (imagen derecha), que tiene un período de 2537 años (1997 – 4537).

Los cometas tienen 2 colas, una formada por gas y la otra formada por polvo. Estas colas siempre apuntan en dirección contraria al sol, ya que los vientos solares son los que provocan su aparición.



Fuente: Wikipedia

1.4.12 PLANETAS ENANOS

Esta definición fue formulada por la Unión Astronómica Internacional (IAU) en 2006, luego del descubrimiento en 2005 de un objeto (Eris) del tamaño de Plutón en la zona del cinturón de Kuiper, más allá de la órbita de Neptuno. ¿Era el décimo planeta? ¿o Plutón y Eris son sólo ejemplos de una clase distinta? En 2006, en la reunión anual de la IAU, se acordó que era necesaria una nueva definición que albergara a los cuerpos que son más desarrollados que los simples asteroides, pero diferentes de los planetas conocidos. Los planetas enanos son objetos que: (1) están en órbita alrededor del Sol, (2) tienen suficiente masa para que su propia gravedad haya superado la fuerza de cuerpo rígido, de manera que adquieran equilibrio hidrostático (es decir que tienen forma casi esférica), (3) no son satélite de un planeta u otro cuerpo no estelar, (4) no han limpiado la vecindad de su órbita.

El último punto de la definición de planeta enano es el que hace la diferencia: la fuerza de gravedad de un planeta atrae o expulsa cualquier cuerpo pequeño que de otra manera intersecaría su órbita; la fuerza gravitacional de los planetas enanos no es suficiente para conseguir hacerlo. Es por eso que ellos terminan orbitando al Sol en regiones donde habitan objetos similares, como en el cinturón de asteroides y el cinturón de Kuiper. Así, revisando los objetos del sistema solar, en 2006 se determinó que Plutón, que fue considerado un planeta durante 76 años, en realidad cae en la categoría de “Planeta enano”. Hubo otros objetos que se vieron beneficiados: Ceres, un objeto que habita el cinturón de asteroides ubicado entre las órbitas de Marte y Júpiter, que fue descubierto mucho antes que Plutón en 1801, fue “ascendido” a la categoría de planeta enano. Y otros 3 objetos del cinturón de Kupier también recibieron su medalla: Eris, Makemake y Haumea completan la lista actual de 5 planetas enanos confirmados.

Aún hay una lista de más de 40 objetos similares en la zona del cinturón asteroides y en el de Kuiper que esperan su confirmación como planetas enanos o simples asteroides. Se estima que sólo en el cinturón de Kuiper podría haber hasta 200 planetas enanos. Probablemente las sondas Dawn y New Horizons que explorarán el cinturón de asteroides y el cinturón de Kuiper, respectivamente, ayudarán a confirmar las características de esos objetos.

1.5 COMPARACIÓN DE DISTANCIAS Y TAMAÑOS

Si quisiéramos diseñar una maqueta del sistema solar “a escala”, lo primero que debemos hacer es fijar nuestra escala. Por ejemplo, podríamos decir que diez mil kilómetros van a ser representados por 1cm, y de ahí podríamos escalar todos los objetos y distancias.

En un ejemplo concreto, elijamos representar al Sol con una pelota de fútbol, entonces la Tierra estaría ubicada a 23,5 mts y sería la cabeza de un alfiler (2 mm); Júpiter, estaría a más de una cuadra (123 mts) y sería un huevo de codorniz (2 cm); Saturno estaría a 2 cuadras de distancia desde el sol (226 mts) y sería una uva negra (1,8 cm); Plutón estaría a casi 1 kilómetro (931mts) y sería un punto (0,3 mm)!!!. La estrella más cercana al Sol es Próxima Centauri, que en esta maqueta estaría representada por otra pelota de fútbol ubicada en Venezuela (6.330 km).En la práctica, para hacer una maqueta del sistema solar conviene elegir dos escalas distintas, una para representar los tamaños y otra para representar las distancias.

Siguiendo con la comparación de tamaños, si representáramos a todo el sistema solar por una mondeda de 10 centavos, el diámetro de nuestra galaxia sería el de todo el largo de la República Argentina.

RESUMEN:

	Distancia media al Sol en UA	Diámetro en km	Nº de satélites	Período alrededor del Sol	Rotación sobre su eje	¿Posee Anillos?	Tipo	Peso persona de 50 kg
MERCURIO	0,39	4.879	0	88 días	59 días	No	rocoso	19 kg
VENUS	0,72	12.103	0	225 días	-243 días	No	rocoso	45,2 kg
TIERRA	1	12.756	1	1 año	1 día	No	rocoso	50 kg
MARTE	1,52	6.794	2	687 días	24,6 horas	No	rocoso	18,8 kg
CERES	2,77	952	0	5 años	9 horas	No	rocoso	1,4 kg
JÚPITER	5,20	142.984	67	12 años	10 horas	Sí	gaseoso	112,9 kg
SATURNO	9,58	120.536	62	29 años	10,5 horas	Sí	gaseoso	53,3 kg
URANO	19,23	51.118	27	84 años	-17 horas	Sí	gaseoso	44,3 kg
NEPTUNO	30,10	49.572	13	165 años	16horas	Sí	gaseoso	57 kg
PLUTÓN	39,26	2.390	5	246 años	-6,4 días	No	rocoso	3,4 kg
HAUMEA	43,34	1.500	2	285 años	4 horas	No	rocoso	¿?
MAKEMAKE	45,79	1.600	0	310 años	8 horas	No	rocoso	¿?
ERIS	67,67	2.326	1	561 años	26 horas	No	rocoso	¿?

1.6 OTROS SISTEMAS PLANETARIOS

Desde que los primeros planetas fueron descubiertos fuera del sistema solar en 1992 (orbitando un púlsar) y en 1995 (orbitando una estrella 'normal'), el estudio de planetas orbitando otras estrellas, conocidos como exoplanetas o planetas extrasolares, se ha convertido en uno de los campos más dinámicos en la astronomía actual que está en constante crecimiento. Veremos a continuación las técnicas de detección de estos objetos y el estado actual de los exoplanetas descubiertos.

1.6.1 DETECCIÓN:

Los planetas no emiten luz propia, mientras que su estrella brilla fuertemente. Intentar medir la luz reflejada por un planeta distante es como tratar de ver la llama de una vela ubicada detrás de un incendio forestal, o la luz de una luciérnaga revoloteando alrededor de un faro.

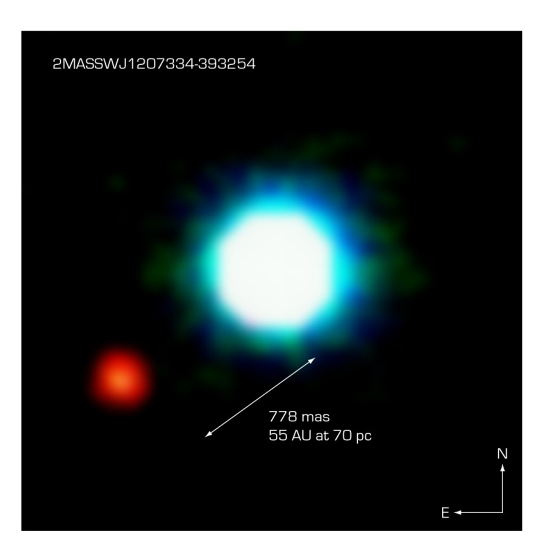
En la actualidad existen 6 herramientas utilizadas para la detección de estos planetas escurridizos:

(A) Detección directa:
- (1) Imágenes

(B) Detección indirecta
- (2) Velocidad radial de la estrella
- (3) Astrometría de la estrella
- (4) Regularidad de las pulsaciones
- (5) Tránsitos
- (6) Microlente gravitacional

Detección Directa

<u>(1) Imágenes:</u> La forma más difícil de detectar un exoplaneta es a través de una imagen directa debido al contraste excesivo entre la estrella central y su planeta compañero. Para exponer al planeta, el brillo de la estrella tiene que ser disminuido o enmascarado de manera que el observador pueda explorar entre las sombras. Un método es usar la información de la luz en el rango del infrarrojo más que en luz visible. La luz visible de un planeta del tipo de Júpiter es una mil millonésima de la luz de la estrella anfitriona, mientras que en infrarrojo el contraste es un factor de las milésimas. Otro método es bloquear la luz de la estrella, usando un coronógrafo que enmascara el brillo central de la estrella dejando visible sólo la corona (la región más externa de la atmósfera estelar) y así se puede ver el 'pequeño' brillo de un planeta circundante.



NACO Image of the Brown Dwarf Object 2M1207 and GPCC

ESO PR Photo 26a/04 (10 September 2004) © European Southern Observatory

La imagen directa es la única manera de acceder a algunos parámetros fundamentales, tales como la cantidad de agua y las propiedades de cualquier posible biósfera.

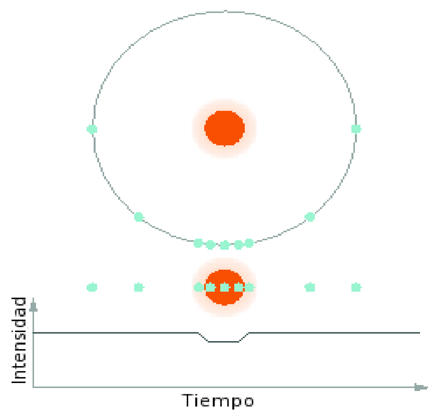
Detección Indirecta

La mayoría de los exoplanetas descubiertos hasta ahora han sido detectados utilizando métodos indirectos, es decir, infiriendo su existencia por el efecto que producen sobre su estrella anfitriona. La presencia de un planeta afecta a la estrella de varias formas. La débil fuerza gravitatoria del planeta tironea a la estrella provocándole que se mueva en una pequeña órbita circular, vista como un bamboleo de la estrella que puede detectarse utilizando las técnicas de velocidad radial y astrometrías. Además, cuando el planeta se mueve entre la estrella y el observador, se produce un pequeño eclipse provocando un cambio en la luminosidad de la estrella. Esas pequeñas variaciones en las propiedades de la estrella anfitriona son muy importantes para los astrónomos, ya que hacen que la detección indirecta sea posible.

(2) Velocidad radial: Cuando una estrella se mueve en una pequeña órbita circular, resultante del tironeo provocado por un exoplaneta, se acercará hacia la Tierra y se alejará a medida que completa su órbita. La velocidad de la estrella a lo largo de la línea de la visual de un observador en la Tierra es su velocidad radial. Los cambios en la velocidad radial de una estrella hacen que las líneas en el espectro de la estrella se desplacen hacia el rojo cuando la estrella se aleja de nosotros, y hacia el azul cuando se acerca (efecto Doppler – ver capítulo 3, sección 3.4.9).
Los cambios periódicos en la velocidad radial de la estrella dependerán de la masa del exoplaneta y de la inclinación de su órbita respecto de nuestra línea de la visual.
Los pequeños bamboleos de las estrellas pueden ser medidos utilizando espectrógrafos de alta precisión. Por ejemplo, el proyecto HARPS del ESO ha probado ser muy efectivo como cazador de exoplanetas utilizando esta técnica.

(3) Astrometría: este método es similar al de velocidad radial, pero en lugar de estudiar el movimiento en la línea de la visual se analiza el movimiento de la estrella en el plano del cielo midiendo las pequeñas perturbaciones que se producen en la posición angular de la estrella. Hasta ahora no se han descubierto exoplanetas con esta técnica.

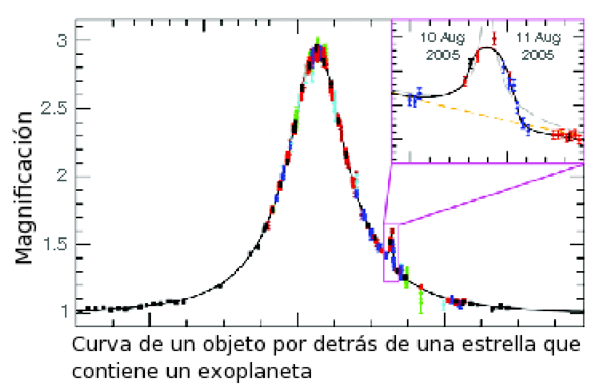
(4) Regularidad de las pulsaciones: la presencia de un exoplaneta afecta la regularidad de las señales emitidas por una estrella. Este método puede ser utilizado para detectar exoplanetas que orbitan alrededor de púlsares. Los púlsares emiten ondas de radio a medida que rotan generando un rayo de luz pulsada periódicamente (como un faro o una linterna que gira mientras la sostenemos atada a una soga). Si un exoplaneta perturba el movimiento de la estrella, también perturbará la regularidad con la que vemos los pulsos de luz. Mediante esta técnica se descubrieron los primeros 3 exoplanetas en 1992.



Créditos: European Southern Observatory (ESO)

(5) Tránsitos: cuando un planeta se atraviesa entre la Tierra y su estrella anfitriona se le llama tránsito. El planeta bloquea algo de la luz de la estrella y provoca una caída periódica en el brillo de la estrella. Este efecto puede ser medido utilizando la fotometría de la estrella, es decir la medición de la cantidad de luz que recibimos del objeto estelar.
Los telescopios espaciales COROT y KEPLER han detectado hasta la actualidad numerosos tránsitos de exoplanetas.Las mediciones de velocidades radiales,

combinadas con los tránsitos hacen posible determinar no sólo la masa de los planetas sino también su radio y densidad.



Curva de un objeto por detrás de una estrella que contiene un exoplaneta

Créditos: ESO

(6) Microlente gravitacional: el campo gravitatorio de un objeto grande 'dobla' la luz proveniente de un objeto distante y lo amplifica, actuando como una lente. Cuando la luz de un objeto de fondo viaja hacia la Tierra, su trayectoria es desviada cuando se acerca a un objeto grande que está alineado con el objeto de fondo. Ya que el efecto de microlente actúa sobre la radiación del objeto de fondo, esta técnica puede ser utilizada para estudiar objetos que emiten poca luz o ninguna, tales como agujeros negros o planetas en otras estrellas. Supongamos que el objeto de frente que se interpone es una estrella que tiene un exoplaneta, entonces la luz amplificada de la fuente de fondo contendrá un pico adicional. El tamaño y la forma de ese pico secundario dependerá de la masa y la distancia del planeta a su estrella anfitriona

1.6.2 DESCUBRIMIENTOS

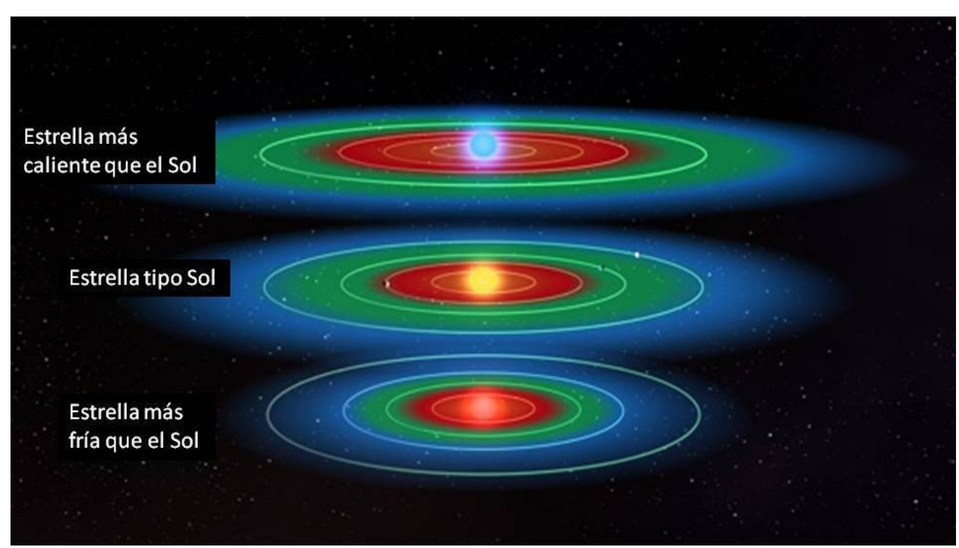
En la actualidad se conocen entre 700 y 1000 exoplanetas confirmados (la diferencia en el número depende de la fuente de información: Planet Quest, exoplanet.org, kepler mission, exoplanet.eu, Planetary Habitability Laboratory), hay cerca de 3000 candidatos que esperan por su confirmación. Existen planetas orbitando sistemas binarios, estrellas como el Sol, estrellas más frías y más calientes que el Sol. Hay también sistemas planetarios complejos, con varios planetas alrededor de una misma estrella (como el sistema solar). La mayoría de los exoplanetas descubiertos pueblan una pequeña región de nuestra galaxia de 300 años luz de radio alrededor del Sol.

Basándose en los datos del telescopio espacial Kepler, los astrónomos estimaron que el 17% de las estrellas de la Vía Láctea (1 de cada 6 estrellas) tienen planetas del tamaño de la Tierra, en órbitas de 85 días o menos alrededor de sus estrellas. Esto significa que hay un mínimo de 17 mil millones de mundos tipo Tierra sólo en esta galaxia. Probablemente hay muchos más moviéndose en órbitas más grandes que el telescopio Kepler no ha tenido todavía el tiempo suficiente para detectarlos. Además, estimaron que el 25% de las estrellas de nuestra galaxia tienen planetas tipo Súper-Tierras (radios entre 1,25 y 2 veces el radio terrestre); 25% de las estrellas poseen mini-Neptunos (radios entre 2 y 4 veces el de la Tierra); 3% de las estrellas poseen Neptunos (radios entre 4 y 6 del de la tierra) y 5% de las estrellas tienen planetas tipo Júpiter o mayores (entre 6 y 22 veces el radio de la tierra).

En la actualidad, se estima que por cada estrella de una galaxia hay en promedio 1,6 exoplanetas, lo cual implica que sólo en nuestra galaxia - que tiene entre 100 mil millones y 400 mil millones de estrellas - habría entre 160 mil millones y 600 mil millones de planetas.

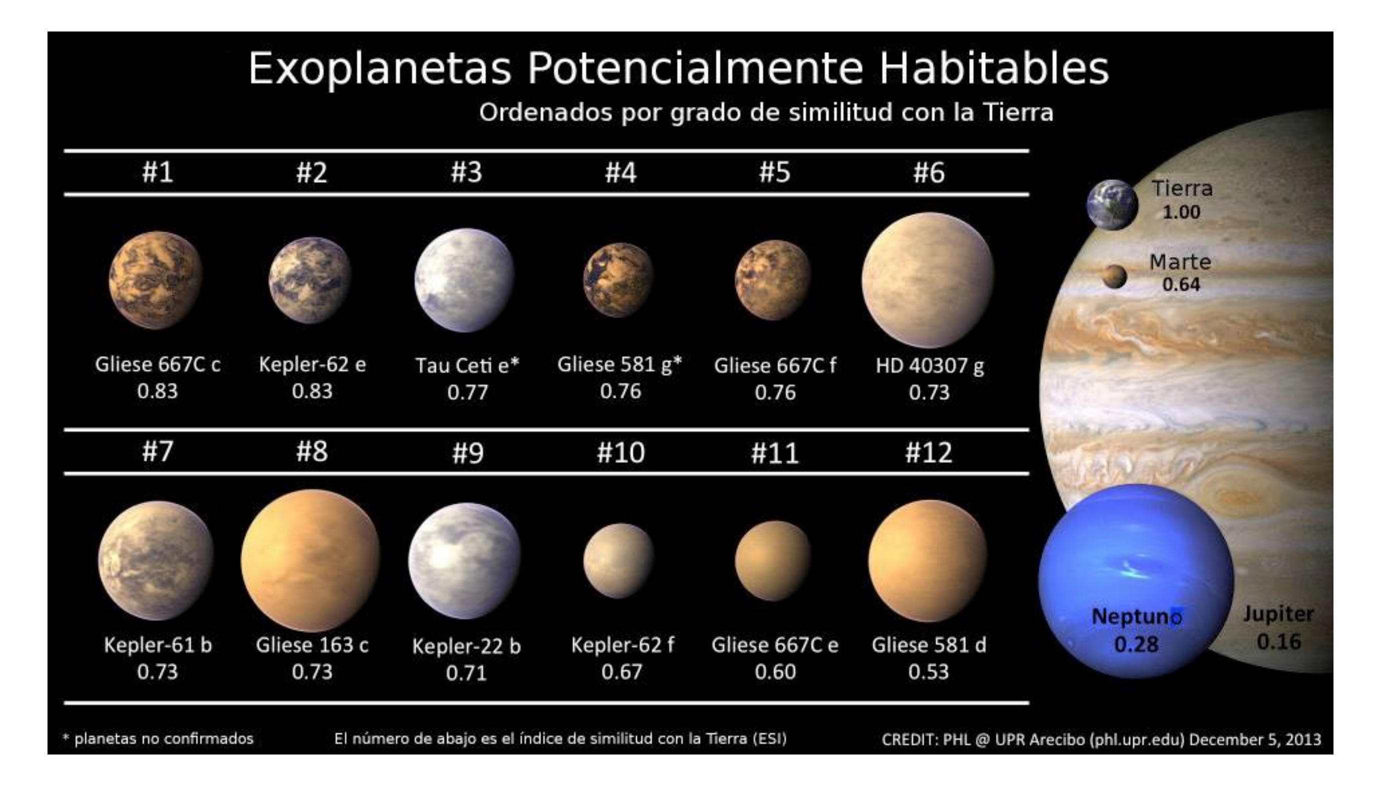
1.6.3 ZONA DE HABITABILIDAD

Un análisis interesante que se hace respecto de los planetas descubiertos es respecto de su "habitabilidad", en donde esto no quiere decir que se pretenda viajar hasta los planetas (que están a muchísimos años luz de distancia), ni que realmente se pueda confirmar que son similares a la Tierra. En realidad, en primer lugar se define como "*zona de habitabilidad*" a la región alrededor de la estrella anfitriona en la cual el agua puede existir en estado líquido, es decir, que tiene la temperatura necesaria para que esto suceda (entre 273ºK y 373ºK). Esta región varía de acuerdo con el tipo de estrella. Para una estrella como el Sol, la zona de habitabilidad se extiende desde las 0,7 UA hasta ~3 UA. Estrellas menos masivas, tienen la zona de habitabilidad más próxima a la estrella, mientras que para estrellas más masivas esta región se encuentra más alejada. En el sistema Solar por ejemplo, la zona de habitabilidad del Sol se extiende desde un poco después de la posición de la órbita de Venus hasta un poco más allá de la órbita de Marte, es decir que la Tierra, la Luna, Marte y sus satélites Fobos y Deimos caen en la zona de habitabilidad, sin embargo, dadas las condiciones particulares de cada uno de los objetos, sólo existe agua líquida en la Tierra; el efecto invernadero, poca absorción de luz solar, pueden evitar la presencia de agua líquida. De los exoplanetas descubiertos, unos cincuenta caen en la zona de habitabilidad de su estrella.



Créditos: Kepler mission/NASA

Para clasificarlos como "potencialmente habitables" como en la imagen que compartimos más abajo, se incluye otro criterio extra además de estar ubicados en la zona de habitabilidad: los planetas deben tener entre 1 y 10 veces la masa de la Tierra. De esta forma se pretende establecer un criterio por el cual se considera que el planeta es capaz de retener su atmósfera y de tener actividad geológica. En la actualidad 12 exoplanetas reciben la clasificación de "potencialmente habitables", y están mostrados en la imagen (para comparar tamaños están incluidos algunos de los planetas del sistema solar). Todos ellos son además clasificados como "SuperTierras", es decir que tienen masas superiores a la de la Tierra. De todas maneras, no puede asegurarse que realmente exista agua en estado líquido en esos planetas ya que en la mayoría de los casos aún no se puede determinar si se trata de planetas rocosos o gaseosos, si tienen atmósfera o no, etc., pero estos exoplanetas son un buen punto de partida para profundizar otro tipos de estudios.



En la actualidad, (diciembre 5 de 2013), existen 12 exoplanetas clasificados como 'potencialmente habitables', los nombres de los mismos se muestran en el dibujo anterior (son dibujos, no imágenes directas).
Dada la gran cantidad de datos que se vienen recopilando en los últimos años en el campo de los planetas extrasolares, existen varias páginas en las que el público en general puede ayudar a los científicos a procesar los datos y descubrir nuevos planetas candidatos. Les dejamos este enlace, en donde tiene un tutorial que nos enseña cómo detectar un potencial exoplaneta de acuerdo con la variación de la luminosidad recibida de su estrella: http://www.planethunters.org/

1.6.4 EXTRAÑOS MUNDOS

Los exoplanetas descubiertos hasta ahora expanden rangos muy amplios de tamaños, temperaturas, distancias a sus estrellas. Existen exoplanetas orbitando estrellas múltiples, los que no orbitan ninguna estrella (llamados errantes), formando parte de sistemas planetarios, etc. A continuación dejaremos una mención a algunos de los exoplanetas más "extremos" (hasta diciembre de 2013):

- *EL MÁS PEQUEÑO:* Kepler 10-b fue descubierto en Enero de 2011. Tiene un radio de 1,4 veces el radio de la Tierra. Se encuentra orbitando a la estrella Kepler 10 ubicada a 560 años luz de distancia de la Tierra. La órbita de Kepler 10-b está 20 veces más cerca de su estrella de lo que está Mercurio del Sol.
- *EL MÁS GRANDE:* TrES-4 tiene un radio de 1,7 veces el radio de Júpiter, y posee una densidad extremadamente baja. El TrES-4 orbita a la estrella GSC 02620-00648 ubicada a 1400 años luz de distancia de la Tierra.
- *EL MÁS CERCANO A LA TIERRA:* Epsilon Eridani b orbita una estrella del tipo del Sol ubicada a 10,5 años luz de la Tierra. Este exoplaneta tiene 1,5 veces la masa de Júpiter. (A principios de 2013 se había anunciado el descubrimiento de un exoplaneta orbitando a Alfa Centauri B, a sólo 4,3 años luz de distancia, pero estudios posteriores no pudieron confirmar la existencia de ese planeta).

- *PEQUEÑO INFIERNO:* CoRoT-7b es un planeta rocoso que orbita a una estrella ubicada a 480 años luz de la Tierra. CoRoT-7b orbita a su estrella a una distancia 23 veces más cerca de lo que está Mercurio del Sol, además está tidalmente acoplado a su estrella por lo que siempre le muestra la misma cara. La cara que mira hacia la estrella está a más de 2000 grados tan caliente que la roca se puede evaporar, mientras que la cara opuesta tiene 200 grados bajo cero. Algunas evidencias sugieren que puede tener una intensa actividad volcánica, más intensa que Ío, el satélite de Júpiter que es el objeto más activo del sistema solar.
- *MÚLTIPLES ATARDECERES:* el planeta HD 188753 orbita una estrella de un sistema triple ubicado a 149 años luz de distancia de la Tierra. El planeta tiene un tamaño similar a Júpiter y completa una órbita alrededor de la estrella primaria en 3,5 días. Las otras dos estrellas forman un par muy ligado, separados de la estrella primaria por una distancia similar a la distancia Sol-Saturno.
- *EL MÁS FRÍO Y MÁS LEJANO:* OGLE-2005-BLG-390L b tiene una masa de 5,5 veces la masa de la tierra y se cree que es rocoso. La temperatura superficial del planeta es de 220 grados bajo cero. Orbita alrededor de una estrella enana roja ubicada a 28000 años luz de distancia. La detección de este exoplaneta se hizo a través de la técnica de lentes gravitacionales.
- *EL MÁS CALIENTE:* WASP-12b tiene una temperatura superficial de 2200 grados, y está a sólo 3,5 millones de kilómetros de su estrella, por lo que completa una órbita alrededor de su estrella en un día. WASP-12b es un planeta gaseoso de 1,5 veces la masa de Júpiter y alrededor de 2 veces su tamaño. Se ubica a 870 años luz de la tierra.
- *SOLITARIOS:* Alrededor de una docena de planetas errantes han sido encontrados hasta ahora, ya sea por el calor restante que emanan luego de su contracción gravitatoria (emisión en infrarrojo) o por las raras veces que pasan por delante de alguna estrella eclipsándola. Se estima que existen al menos el doble de planetas errantes que estrellas en nuestra galaxia.
- *EL MÁS JOVEN:* El exoplaneta más joven descubierto tiene menos de 1 millón de años y orbita a la estrella Coku Tau 4 ubicada a 420 años luz de distancia. Los astrónomos infieren la presencia de un planeta debido un enorme agujero en el disco de gas y polvo que rodea a la estrella. El hueco tiene alrededor de 10 veces el tamaño de la órbita de la tierra, y probablemente se debe a la presencia de un planeta que está limpiando su órbita alrededor de la estrella.
- *EL MÁS VIEJO:* El exoplaneta más viejo conocido tiene 12.700 millones de años y orbita una estrella del cúmulo globular M4.
- *EL MÁS DENSO:* COROT-exo-3b tiene aproximadamente el mismo tamaño que Júpiter pero tiene 20 veces su masa, por lo que es dos veces más denso que el plomo.
- *EL MENOS DENSO:* HAT-P-1 tiene un cuarto de la densidad del agua. Tiene aproximadamente la mitad de la masa de Júpiter pero es casi el doble en tamaño. Orbita alrededor de uno de los miembros del sistema binario llamado ADS 16402 ubicado a 450 años luz de distancia
- *EL MÁS RÁPIDO:* SWEEPS-10 orbita a su estrella a una distancia de sólo 1 millón de kilómetros, tan próximo que su año dura sólo 10 horas.
- *EL MÁS OSCURO:* El planeta TrES-2b es más oscuro que el carbón. Este exoplaneta del tamaño de Júpiter refleja menos del 1% de la luz que recibe. Se ubica a 750 años luz de distancia.

1.7 ALBEDO: ¿espejito o carbón?

Cuando observamos el cielo nocturno, casi todos los objetos visibles a simple vista son estrellas y nebulosas de nuestra propia galaxia. Las contadas excepciones son las 2 galaxias enanas satélites de la Vía Láctea (llamadas nubes de Magallanes), la galaxia Andrómeda y los objetos del sistema solar: la Luna, y los planetas Mercurio, Marte, Venus, Saturno y Júpiter. Pero, salvo el Sol que es una estrella, ninguno de los otros objetos del sistema solar emiten luz propia. Entonces, ¿por qué los vemos brillar? La razón es que simplemente reflejan la luz que reciben del Sol. Para medir la capacidad que tiene un objeto de reflejar luz es que definimos el albedo.

El albedo es el cociente entre la luz reflejada por un cuerpo y la luz que recibe (en otras palabras, se mide la fracción de luz incidente que es reflejada). Por ejemplo, un espejo perfecto tiene un albedo de 1, mientras que un agujero negro tiene un albedo de 0.

El estudio de los albedos de objetos en el espacio es muy importante, no sólo para estudiar planetas de nuestro sistema solar, o asteroides, sino también en el estudio de planetas alrededor de otras estrellas. Por ejemplo, albedos altos sugieren hielo en la superficie, mediciones de albedo alto en asteroides son indicativas de altos contenidos de metales. También hay una correlación entre la magnitud absoluta, el albedo y el diámetro de los asteroides. Respecto de las mediciones de albedos de planetas, albedo alto enfría el planeta, porque la luz (radiación) absorbida y aprovechada para calentarlo es mínima. Por el contrario, un albedo bajo calienta el planeta, porque la mayor parte de la luz es absorbida por el mismo. El estudio del albedo puede hacerse en distintas bandas fotométricas (~colores), podemos estudiar distintas propiedades de los objetos de acuerdo con la cantidad de luz de alguna determinada longitud de onda que reflejan. Por ejemplo, la luz que refleja la Tierra guarda signos de vida embebidos en su espectro de color. La clorofila de las plantas refleja más luz infrarroja que luz visible, por lo que los hábitats ricos en vegetación pueden ser identificados. La luz de otros colores (longitudes de onda) que reflejan los planetas también contienen información sobre sus propiedades, particularmente los planetas rocosos con atmósferas claras como la Tierra, que lucirán como un "punto azul pálido".

Algunos albedos se enumeran a continuación (desde más oscuro a más reflectante):

- TrES - 2b < 0,01
- Luna 0.07
- Árboles y /o bosques 0.15
- Tierra 0.37
- Júpiter 0.52
- Venus 0.60
- Nieve y hielo 0.8-0.9
- Encélado (luna de Saturno) 0.99

TrES- 2b es un planeta extrasolar del tamaño de Júpiter con una temperatura superficial estimada de 1.200º C. El planeta puede que sea demasiado caliente para permitir que se formen nubes reflectantes (que aumentan el albedo). La medición del albedo de TrES -2b indica que refleja menos luz que la pintura acrílica negra o que el carbón.

Referencias:

http://sac.csic.es/astrosecundaria/libro/conferencias/C4%20Sistema%20solar%20final.pdf
http://on.fb.me/16syM8k
http://www.eso.org/public/archives/presskits/pdf/exoplanets.pdf
http://exoplanets.org/
http://exoplanets.eu/
http://planetquest.jpl.nasa.gov/
http://kepler.nasa.gov/
http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog/results
http://astro.unl.edu/naap/habitablezones/animations/stellarHabitableZone.html
http://www.space.com/159-strangest-alien-planets.html
http://neo.jpl.nasa.gov/glossary/albedo.html
http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/1108/1108.2297v2.pdf
http://www.bbc.co.uk/news/science-environment-14476411
http://www.blastr.com/2012/01/9-real-planets-so-amazing.php

Actividades y enlaces interactivos:

http://sac.csic.es/astrosecundaria/libro/talleres/T9%20Planetas%20y%20exoplanetas%20version3.pdf
http://astro.unl.edu/naap/ssm/ssm.html
http://www.windows2universe.org/physical_science/physics/mechanics/orbit/orbit_shape_interactive.html&lang=sp
http://www.solarsystemscope.com/
http://astro.unl.edu/naap/esp/animations/transitSimulator.html
http://astro.unl.edu/naap/habitablezones/animations/stellarHabitableZone.html
http://www.planethunters.org/
http://phl.upr.edu/projects/habitable-exoplanets-catalog

CAPÍTULO 2: Estrellas

"El nitrógeno en nuestro ADN, el calcio en nuestros dientes,
el hierro en nuestra sangre y el carbono en nuestras tartas de manzana,
fueron hechos en el interior de estrellas que colapsaron.
Estamos hechos de polvo de estrellas"
Carl Sagan (1934 – 1996)

2.1 UNA ESTRELLA VIVA: LA FUSIÓN NUCLEAR

Gran cantidad de la materia visible que constituye el Universo está atrapada en forma de estrellas. Estas esferas gigantescas de gas caliente alcanzan diámetros que van de cientos a miles o millones de veces el diámetro de la Tierra. Las estrellas tienen brillo propio porque en su centro las presiones y temperaturas son lo suficientemente elevadas como para propiciar que los átomos colisionen entre sí frecuente y fuertemente. En estas colisiones, a veces se fusionan dos o más núcleos atómicos para formar uno solo. A este fenómeno se le llama fusión termonuclear. En su forma más básica, este proceso fusiona cuatro átomos de hidrógeno para formar un átomo de helio. Estrictamente hablando, la masa no se conserva en este proceso físico. Si tomáramos cuatro gramos de núcleos de hidrógeno y los fusionáramos hasta convertirlos íntegramente en núcleos de helio, no obtendríamos exactamente los cuatro gramos de helio esperados, sino tan sólo 3.97 gramos. ¿Qué le sucede a la masa aparentemente desaparecida? Esta diferencia de masa se transforma en energía; concretamente es emitida como radiación de alta energía.

Esta transformación de materia en energía es consecuencia de la equivalencia materia-energía, enunciada por Albert Einstein en su famosa fórmula **$E=mc^2$**; donde E es la energía resultante, m es la masa transformada en energía, y c es la velocidad de la luz. La cantidad de energía que se libera en los procesos de fusión termonuclear es fabulosa. Un gramo de materia transformado íntegramente en energía bastaría para satisfacer los requerimientos energéticos de una familia tipo durante miles de años. La fusión nuclear aún no se ha podido llevar a cabo eficientemente y de manera controlada en laboratorios (en cambio la fisión nuclear, sí).

Las reacciones termonucleares se llevan a cabo en el núcleo de las estrellas, convirtiendo el hidrógeno en elementos más pesados. Hasta la década de 1920 se creía que las estrellas estaban formadas por átomos de elementos pesados, pero en 1925 la astrónoma Cecilia Payne-Gaposchkin en su trabajo de tesis doctoral estableció que el hidrógeno era el componente principal de las estrellas. Todos los elementos químicos que conocemos se han formado en el corazón de las estrellas. Dependiendo de la masa inicial de la estrella, podrá llegar en la cadena de fusiones hasta distintos elementos:

-la fusión de los átomos de hidrógeno es llamada ciclo protón-protón: 4 átomos de Hidrógeno se funden para formar 1 átomo de Helio. Cuando todo el Hidrógeno del núcleo se ha convertido en Helio la estrella deja de estar en equilibrio y el núcleo se encoge, y hace que la temperatura del núcleo suba. Entonces se empiezan a fusionar átomos de Helio: 3 átomos de Helio dan lugar a 1 átomo de Carbono - hasta este punto puede llegar una estrella del tipo del Sol. Nuevamente, la estrella se aleja del equilibrio y el núcleo se comprimirá y aumentará la temperatura. Ahora, la estrella puede fusionar Helio y Carbono para formar Oxígeno: 1 Helio + 1 Carbono = 1 Oxígeno. Cuando el Carbono se agota, nuevamente el núcleo de la estrella se comprimirá y subirá aún más su temperatura, pudiendo reiniciar la fusión: 1 Helio + 1 Oxígeno = 1 Neón. Dependiendo del tamaño de la estrella, este proceso puede seguir por toda la tabla periódica hasta el punto en el

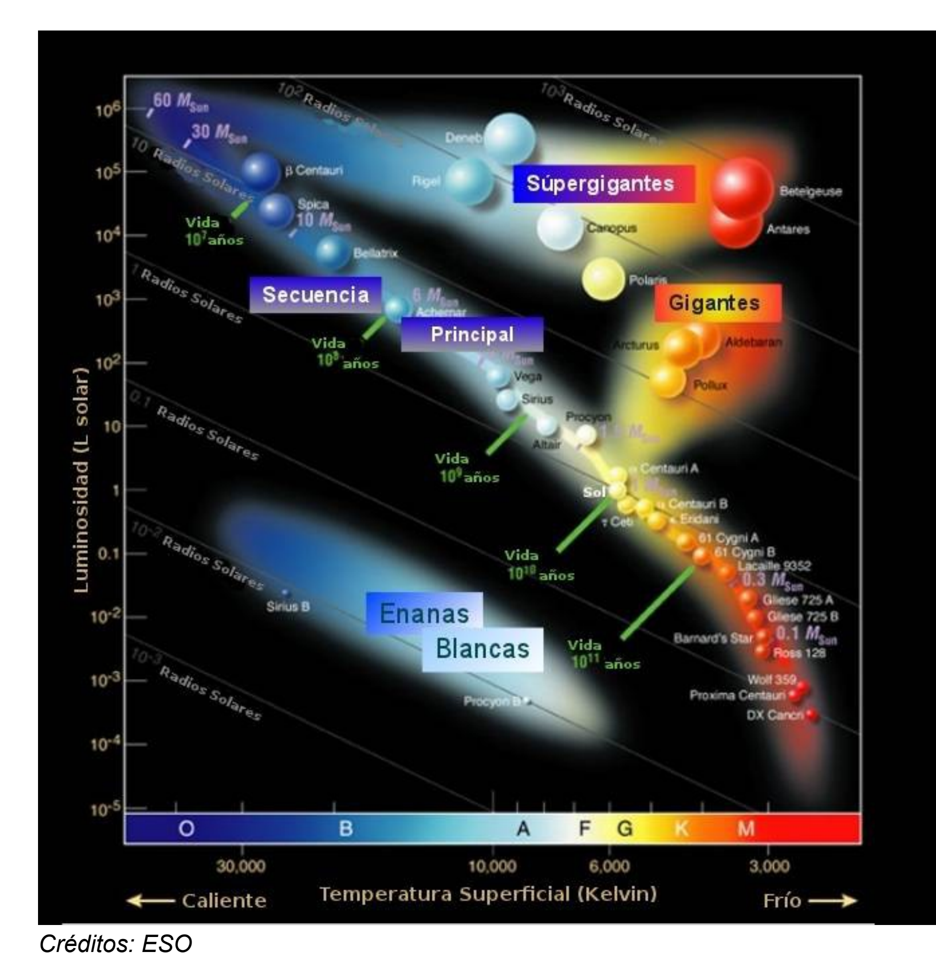
que se forma el Hierro. Pero para fusionar Hierro hace falta agregar energía. Ya que se está gastando energía en las fusiones, la estrella no podrá volver al equilibrio y sus días están contados.

2.2 DIAGRAMA HERTZPRUNG-RUSSEL

El Diagrama de Hertzsprung-Russell (HR) es un análogo de la tabla periódica de los elementos. Se descubrió que cuando la magnitud absoluta (MV) - brillo intrínseco - de las estrellas se representa en función de su temperatura (clasificación espectral), las estrellas no están distribuidos al azar en el gráfico, sino que están mayormente confinadas en unas pocas regiones bien definidas. Las estrellas dentro de las mismas regiones comparten un conjunto común de características (al igual que los grupos, periodos y bloques de elementos en la tabla periódica). A diferencia de la tabla periódica, como las características físicas de una estrella cambian a lo largo de su historia evolutiva, su posición en el diagrama HR cambia también - por lo que el diagrama HR también puede ser pensado como una representación gráfica de la evolución estelar. A partir de la ubicación de una estrella en el diagrama, se puede conocer su luminosidad, tipo espectral, color, temperatura, masa, radio, composición química, edad, y la historia evolutiva.

La mayoría de las estrellas se clasifican por la temperatura (tipo espectral) de más caliente a más fría de la siguiente manera: OBAFGKM. Estas categorías se subdividen a su vez en subclases de la más caliente (0) a la más fría (9). Las estrellas B más calientes B0 y las más frías son B9, seguidas por las de tipo espectral A0. Cada clasificación espectral se caracteriza por sus espectro únicos. Aunque OBAFGK y M son las clasificaciones espectrales comúnmente mostradas en los diagramas HR, se han designado otras clases espectrales nuevas y ampliadas. Éstas incluyen a las estrellas Wolf-Rayet (W), las enanas frías (L), enanas marrones (T), estrellas de carbono (C), y las estrellas con líneas de óxido de circonio que se encuentran entre M y C estrellas (S). La clase D (degenerado) es la clasificación moderna de las enanas blancas. Las principales clasificaciones tienen subclases - la clase D se divide en 7 diferentes subtipos de enanas blancas en base a las variaciones en la composición de sus atmósferas, por ejemplo, DQ son enanas blancas que tienen una atmósfera rica en carbono.

Las líneas espectrales pueden mostrar características diferentes dentro de un mismo tipo espectral o la temperatura (T), por lo que un segundo tipo de sistema de clasificación de estrellas fue diseñado usando luminosidad. Las diferencias en las líneas espectrales entre las estrellas que tienen el mismo tipo espectral son una función del radio de la estrella, que se traduce en diferentes luminosidades. La luminosidad (L) está relacionada con la magnitud absoluta (brillo intrínseco) de una estrella, y es la cantidad total de energía radiada por segundo (L proporcional a T^4). Dos estrellas con temperaturas efectivas similares pero muy diferentes luminosidades deben diferir en tamaño. Pertenecen a diferentes clases de luminosidad dentro de ese tipo espectral, tal como se determina a partir de sus espectros. Las luminosidades estelares van desde un millón de veces más luminosas que el Sol, a una diezmilésima parte de la luminosidad del sol. Las categorías básicas de luminosidad de más a menos luminosa son, (I) supergigantes, (II) gigantes brillantes, (III) gigantes, (IV) subgigantes, (V)estrellas de secuencia principal, (VI) subenanas y (VII) enanas blancas.



Créditos: ESO

Empezando en la esquina superior izquierda y curvándose hacia la esquina inferior derecha está una banda llamada la secuencia principal. ~ 90% de todas las estrellas se encuentran dentro de la secuencia principal. Estas estrellas van desde las calientes y luminosas estrellas O y B en la esquina superior izquierda a las frías y oscuras estrellas K y M en la esquina inferior derecha. Las estrellas de secuencia principal tienen un ritmo bastante constante de fusión del hidrógeno en sus núcleos. En estrellas de secuencia principal, la presión de la radiación, que empuja hacia el exterior debido al proceso de fusión, balancea la fuerza hacia el interior de las fuerzas gravitacionales, manteniendo así un estado de equilibrio dinámico. Cuando el hidrógeno del núcleo se agota y la presión de radiación disminuye, las dos fuerzas se desequilibran y la estrella "se mueve de la secuencia principal" y comienza una serie de etapas evolutivas - el producto final depende de la masa inicial de la estrella . Las ramas de las gigantes y supergigantes en el diagrama HR son ocupadas por las estrellas que ya han hecho la transición de la secuencia principal y están fusionando en sus núcleos los elementos más pesados. Ya que la mayoría de las estrellas de la secuencia principal emigran hacia la rama de las gigantes y supergigantes, hay muchos tipos de estrellas variables que también se limitan a ubicaciones específicas en el diagrama, pero que no detallaremos en este resumen.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTRELLAS EN LAS DIFERENTES CLASIFICACIONES

2.3.1 POR COLOR

Las estrellas pueden tener diferentes masas que van desde las estrellas pequeñas, cuya masa es una centésima parte de la del Sol, hasta aquellas cuya masa es varias veces la del Sol. Las estrellas más masivas crean en su interior temperaturas más grandes y por lo tanto generan más reacciones termonucleares por segundo. Esto da como resultado una mayor temperatura de la estrella y, ya que cuanto más caliente es un objeto, más azul es, estas estrellas brillan con tonalidad azul. Normalmente, las estrellas de masa intermedia, como el Sol, son amarillas, y las de masa menor son rojas (más frías)

2.3.2 POR TEMPERATURA (ESPECTRAL)

De acuerdo con las características que presentan los espectros que se obtienen de las estrellas, las clases espectrales más comunes en las que se dividen son:

O B A F G K M

Cada tipo es divisible en diez subtipos diferentes, añadiendo un número del 0 al 9, así, una estrella de tipo espectral B5 estaría a mitad de camino entre B y A. A continuación algunas características de cada clase espectral:

Tipo O: Las vemos azules con tonalidades violetas. Muy luminosas y grandes, con temperaturas superficiales comprendidas entre los 40.000 y 20.000 ºK. El ejemplo de este tipo de estrella es Alnitak A, del cinturón de Orión (una de las 3 marías).
Tipo B: Las vemos azules. Con temperaturas superficiales entre 20.000 y 10.000 ºK. Un ejemplo de estrella tipo B es Rigel, de la constelación de Orión.
Tipo A: Las vemos blancas con tonalidades azules. Con temperaturas superficiales entre 10.000 y 7000 ºK. Un ejemplo de estrella tipo espectral A es Sirio A, de la constelación del Can Mayor.
Tipo F: Las vemos blancas con tonalidades amarillas. Con temperaturas superficiales entre 7000 y 6000 ºK. Un ejemplo de estrella tipo espectral F es Polaris, de la constelación de la Osa Menor.
Tipo G: Las vemos amarillas. Con temperaturas entre 6000 (enanas G0) y 4800 ºK (gigantes G0). El típico ejemplo de estrella amarilla es el Sol.
Tipo K: Las vemos amarillo-anaranjadas. Con temperaturas superficiales entre 4800 (enanas K0) y 3100 ºK (gigantes K0). Un ejemplo de estrella de tipo K es Aldebarán, de la constelación de Tauro.
Tipo M: Las vemos rojas con tonalidades naranjas. Con temperaturas superficiales entre 3400 (enanas) y 2000 ºK (gigantes). Un ejemplo de estrella tipo M es Betelgeuse, de la constelación de Orión.

2.3.3 POR LUMINOSIDAD

Las clases de luminosidad están relacionadas con la intensidad luminosa intrínseca de las estrellas. Dentro de una misma clase espectral (con una misma temperatura superficial y color) las estrellas pueden tener características físicas diferentes, en especial en cuanto a su diámetro. Dos estrellas con la misma temperatura emiten la misma energía por unidad de superficie, pero si una es mucho más grande, la energía total emitida será también muy superior. Como se mencionó anteriormente, las principales clases de luminosidad, de más a menos luminosas, se clasifican según siete grupos en números romanos:

I - Supergigantes
II - Gigantes Brillantes
III - Gigantes
IV - Subgigantes
V - Secuencia principal
VI - Subenanas
VII - Enanas Blancas

Estrellas de la secuencia principal (V) - La secuencia principal es el grado de evolución de una estrella durante la cual se mantiene una reacción nuclear estable quemando hidrógeno. Esta es la etapa en la que una estrella pasa la mayor parte de su vida. Nuestro Sol es una estrella de secuencia principal. Una estrella de secuencia principal experimentará pequeñas fluctuaciones en la luminosidad y la temperatura. La cantidad de tiempo que una estrella pasa en esta fase depende de su masa. Las estrellas grandes y masivas tendrán una etapa corta de la secuencia principal, mientras que las estrellas menos masivas permanecerán en la secuencia principal

mucho más tiempo. Las estrellas muy masivas agotan su combustible en unos pocos cientos de millones de años. Estrellas más pequeñas, como el Sol, se queman en varios miles de millones de años durante su etapa de secuencia principal. Las estrellas muy masivas se convertirán en gigantes azules durante la secuencia principal. La mayoría de las estrellas, el 90%, son de secuencia principal.

En este tipo de estrellas podemos encontrar varias clases espectrales y su aumento de temperatura va relacionada con su aumento de tamaño. Hay pequeñas enanas rojas (tipo M), enanas naranjas (K), enanas amarillas (G) como el Sol, estrellas blancas (F y A) y grandes estrellas azules (B y O).

Enanas rojas: Una enana roja es una muy pequeña y fría estrella de la secuencia principal, dosifican meticulosamente el combustible para prolongar su vida decenas de miles de millones de años. Si pudiéramos verlas a todas, el cielo estaría cubierto de ellas, pero son tan débiles que sólo podemos observar las más cercanas. Su temperatura superficial es menor que 3.500 ºC. Las enanas rojas son el tipo más común de estrella. Próxima Centauro (la estrella más cercana al Sol) es una enana roja.

Enanas naranjas: Las enanas naranjas se encuentran en la secuencia principal y son estrellas algo más pequeñas que el Sol, menos luminosas y menos masivas. Un ejemplo de enana naranja es Alfa Centauro B.

Enanas amarillas: Las enanas amarillas son estrellas pequeñas de la secuencia principal de tamaño parecido al Sol. Tienen vidas de más de 10.000 millones de años, el 10% de la estrellas de la galaxia son enanas amarillas. El Sol es una enana amarilla.

Estrellas blancas: Estas estrellas de secuencia principal son estrellas más grandes que el Sol, con un promedio de 2 a 3,6 veces su diámetro y con una masa entre 1,5 y 3 veces superior, también son más brillantes. Sirio A es un ejemplo de estrella blanca de secuencia principal.

Estrellas azules: Estas estrellas que se encuentran en la secuencia principal son en promedio de 5 a 19 veces más grandes que el Sol. Mucho más luminosas y calientes y 60 veces más masivas. Un ejemplo de estrella azul de secuencia principal es Regulus.

Estrellas gigantes y luminosas (II y III)- Son estrellas que dejaron la secuencia principal. Es decir que han agotado sus reservas de hidrógeno en su núcleo y queman helio, entonces empiezan a hincharse y a decrecer su temperatura que es inferior en cada espectro a las de la secuencia principal. Normalmente tienen 100 veces el diámetro que tuvieron originalmente. Tienen diámetros que oscilan entre los 10 y 1000 veces el del Sol y hasta 1000 veces más luminosas. En este grupo también podemos encontrar el tipo de estrellas gigantes luminosas con una luminosidad muy alta.

Hay estrellas gigantes en todos los espectros. Gigantes rojas, amarillas, naranjas, blancas y azules.

Estrella gigante roja: Representa la última fase de desarrollo en la vida de una estrella, cuando su suministro de hidrógeno se ha agotado y el helio se fusiona. Esto hace que la estrella colapse, elevando la temperatura en el núcleo. La superficie externa de la estrella se expande y se enfría, dándole un color rojizo. Dentro de unos 5000 millones de años el Sol pasará a esta fase. La estrella R Leonis es un ejemplo de gigante roja.

Estrella gigante naranja: Es el estado intermedio a la fase de gigante roja que pasan las estrellas de entre 0,8 y 10 masas solares. En este estado las estrellas fusionan helio en oxígeno y carbono. El Sol también pasará por esta fase intermedia antes de convertirse en gigante roja. Un ejemplo de una estrella gigante naranja es Arturo de la constelación del Boyero.

Estrella gigante amarilla: Es otra fase de envejecimiento en el que se encuentran las estrellas que un día fueron más brillantes y calientes que el Sol. Un ejemplo de gigante amarilla es Vindemiatrix de la constelación de Virgo.
Estrella gigante blanca: No son muy habituales pero las hay. Pasan por esta fase las estrellas más calientes que el Sol antes de convertirse en gigantes rojas o supergigantes. Un ejemplo de gigante blanca es Thuban de la constelación del Dragón.
Estrella gigante azul: En esta fase permanecen algunas estrellas masivas tipo O y B pero no por mucho tiempo, pues habiendo finalizado la fusión del hidrógeno comienzan a expandirse rápidamente y se convierten en supergigantes. Un ejemplo de estrella gigante azul es Alnitak de la constelación de Orión.

Estrellas supergigantes (I)- Son estrellas mucho más grandes que el Sol y mucho más luminosas, auténticos monstruos en el espacio aunque son muy escasas. Llegando incluso algunas a más de 1000 veces el tamaño del Sol. Una de ellas llenaría todo el sistema solar. Algunas de estas estrellas son el resultado de la evolución de una estrella de gran masa, pero otras son jóvenes, como las de tipo O, aunque no permanecen en este estado mucho tiempo (unos pocos millones de años).

Estrella supergigante azul: Son jóvenes, muy activas y de vida corta. Acabarán sus días como supernovas convirtiéndose en una estrella de neutrones o un agujero negro. Un ejemplo de supergigante azul es Rigel, de la constelación de Orion.
Estrella supergigante blanca: Más evolucionadas y raras. Son muy luminosas con una temperatura superficial de alrededor de 10.000 °K. Deneb, una de las estrellas más brillantes de la Vía Láctea, una supergigante blanca, tiene una luminosidad de aproximadamente 60.000 veces la del Sol.
Estrella supergigante amarilla: Es la fase intermedia que experimentan algunas estrellas (entre 10 a 70 masas solares) entre supergigante azul y la supergigante roja. Son muy escasas ya que pasan poco tiempo en este estado. Un ejemplo de estrella supergigante amarilla es Mirfak, de la constelación de Perseo.
Estrella supergigante naranja: Es la siguiente etapa de una estrella en su proceso de envejecimiento llegando casi al final de su vida. Un ejemplo típico de supergigante naranja es Enif, de la constelación de Pegaso.
Estrella supergigante roja: Estrellas en la última etapa de su vida. Son las estrellas más grandes que pueden encontrarse en nuestro universo. Aunque no son muy calientes, rondan los 3000 a 4000 ºK. Llegarán a esta fase las estrellas que un día fueron gigantes azules. Betelgeuse, en Orión, es un ejemplo típico de supergigante roja a punto de explotar en cualquier momento, al igual que Antares en Escorpio.

Estrellas débiles, prácticamente muertas (tipos VI y VII)
Subenana: Las estrellas subenanas pueden ser de cualquier tipo espectral, al igual que las de la secuencia principal, pero tienen menos luminosidad y también son más pequeñas. Son generalmente de tipo espectral 0, B, G y M.
Enana marrón: Una enana marrón es una estrella cuya masa es demasiado pequeña para tener lugar la fusión nuclear del hidrógeno en su núcleo (la temperatura y la presión en su centro no son suficientes para la fusión), pero son capaces de quemar deuterio y algunas pueden quemar tritio, aunque no son capaces de mantener esa actividad por mucho tiempo. Una enana marrón no es muy luminosa. Tienen masas de entre 13 a 80 veces la masa de Júpiter.
Enanas blancas: Son pequeñas, muy densas y calientes compuestas principalmente de carbono. Estas estrellas débiles son lo que queda después de que una estrella gigante roja pierde sus

capas exteriores. Sus reacciones nucleares se han agotado. Estas enanas blancas no tienen ninguna fuente de energía, además de su calor almacenado. Son como brasas de carbón, enfriándose en una chimenea. Después de miles de millones de años, se enfriarán por completo, y se harán frías y oscuras. Son muy comunes en el universo, pero son muy difíciles de detectar ya que son del tamaño de la Tierra (pero tremendamente pesadas). Nuestro Sol algún día se convertirá en una enana blanca y luego en una enana negra. La compañera de Sirio es una enana blanca al igual que la compañera de Proción.

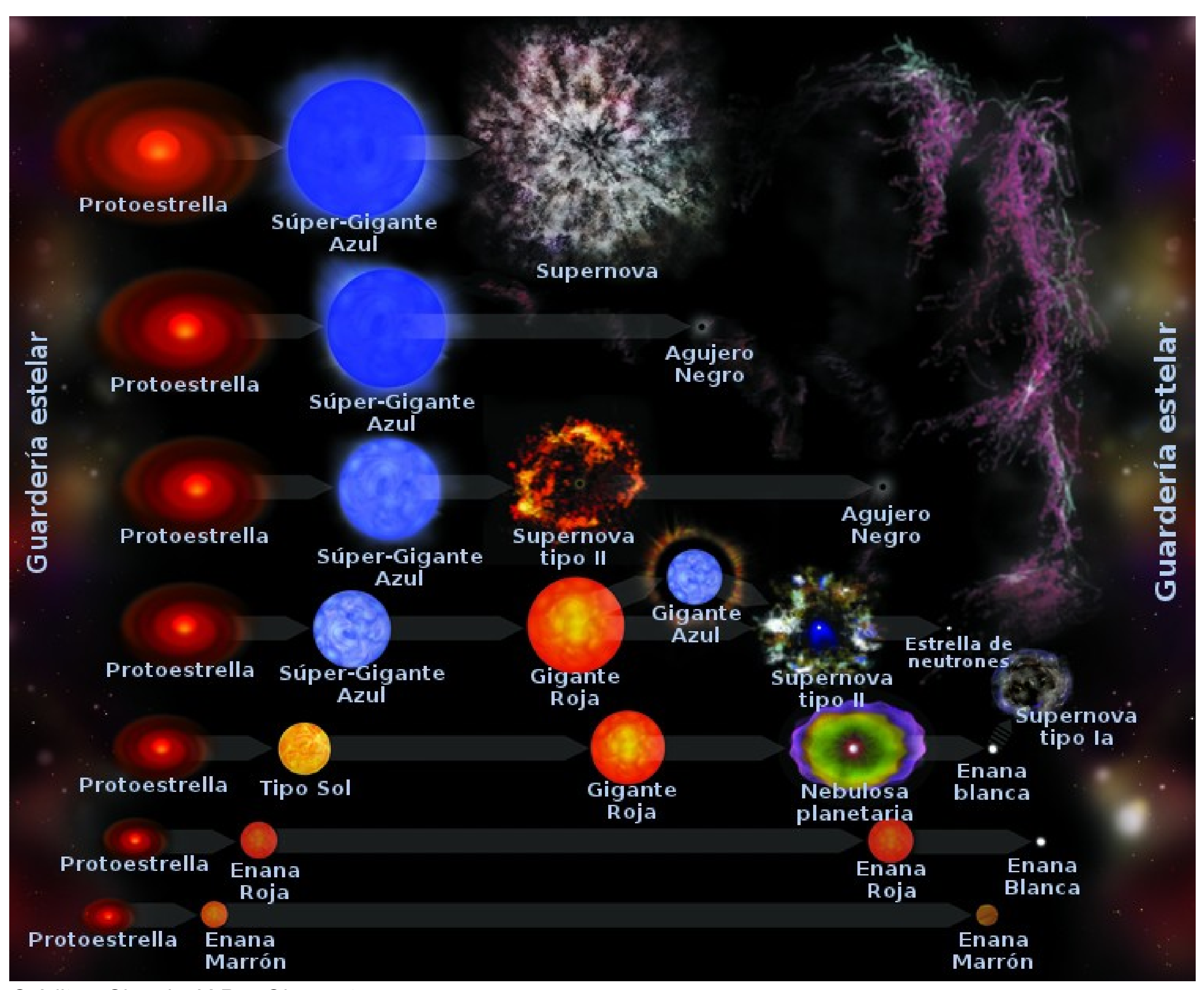
Estrella de neutrones: son muy pequeñas y muy densas, una cucharadita de ella pesaría toneladas. Se compone sobre todo de neutrones. Son los cadáveres de una estrella masiva que murió en un estallido de supernova. Tiene una fina atmósfera de hidrógeno con un diámetro de alrededor de 6.5 km y una densidad de alrededor de $1x10^{12}$ kg/m^3.

Púlsar: Un púlsar es una estrella de neutrones de rotación rápida que emite energía en forma de pulsos, poseen un intenso campo magnético. El campo magnético de la estrella crea unas fuertes emisiones electromagnéticas. Pero como el campo magnético no suele coincidir con el eje de giro- igual que pasa en la Tierra esa emisión gira como un gigantesco faro cósmico. Si el chorro de emisión barre la Tierra, detectamos unas pulsaciones a un ritmo muy regular. Una forma simple de representar un púlsar en clase es con una linterna atada con una cuerda. Si la encendemos y la hacemos girar veremos la luz de forma intermitente cada vez que apunte en nuestra dirección.

Magnetar: Un tipo de púlsar denso que gira rápidamente con un fuerte campo magnético y que expulsa en un segundo grandes cantidades de energía de rayos X y rayos gamma.

Agujero Negro: es el remanente de la explosión de supernova de una estrella muy masiva. Son extremadamente densas. El campo gravitatorio que generan es tan grande que ni la luz puede escapar. La velocidad de escape depende de la fuerza gravitatoria del objeto. En la tierra la velocidad de escape es de 11 km/s. En un agujero negro la velocidad de escape es superior a la velocidad de la luz. Se puede calcular el radio que tiene que tener un objeto para que su velocidad de escape sea la velocidad de la luz, ese radio es conocido como Radio de Schwarzschild y está dado por: $r_s=2GM/c^2=2{,}95\ M\ /M_{sol}$. Para un cuerpo con 3 masas solares (típico de un remanente de supernova que se convertirá en agujero negro) este radio sería de 9km. Si por ejemplo comprimiéramos toda la masa del Sol hasta un volumen tal que lo convirtiéramos en un agujero negro, esa esfera debería tener un radio de 3km; y si hacemos ese ejercicio con la masa de la Tierra el radio de la esfera sería de 0.8cm

Una forma simple de representar un agujero negro en casa es usando una malla elástica (por ejemplo lycra), y esferas de distinto peso. Extendemos la tela, lanzamos rodando una pelota más ligera (o una canica), y vemos que su trayectoria simula la trayectoria rectilínea de un rayo de luz. Pero si colocamos una pelota pesada (p.ej. un globo lleno de agua) o una bola de hierro en el centro de la tela y lanzamos rodando la pelota (o la canica), su trayectoria seguirá una curva en la tela, simulando la trayectoria de un rayo de luz que ya no sigue una línea recta como antes. El ángulo de desviación es directamente proporcional a la masa del cuerpo central e inversamente proporcional a la distancia a la que pase el objeto pequeño. Si aflojamos un poco la tensión de la tela, se produce una especie de pozo gravitacional, del cual es difícil que salga la bola ligera. Sería un modelo de agujero negro.



Créditos: Chandra X-Ray Observatory

En la imagen superior se muestra la evolución de distintas estrellas. En el eje horizontal se da una idea del tiempo de evolución, y en el eje vertical de la Masa de las estrellas. Las estrellas se forman en nubes gigantes de gas y polvo, y progresan a través de su vida normal como bolas de gas calentado por reacciones termonucleares en sus núcleos. En función de su masa, las estrellas llegarán al final de su evolución como una enana blanca, una estrella de neutrones o un agujero negro. El ciclo comienza de nuevo a partir de las cáscaras que se liberan a partir de una o más supernovas, desencadenando la formación de una nueva generación de estrellas. Las enanas marrones tienen una masa de sólo un pequeño porcentaje de la del Sol y no pueden sostener las reacciones nucleares, por lo que nunca evolucionan.

Las estrellas más grandes tienen más combustible, pero tienen que quemar más rápido con el fin de mantener el equilibrio. Debido a que la fusión termonuclear se produce a un ritmo más rápido en las estrellas masivas, las grandes estrellas utilizan la totalidad de su combustible en un lapso más corto de tiempo. Una estrella más pequeña tiene menos combustible, pero su tasa de fusión no es tan rápida. Por lo tanto, las estrellas más pequeñas viven más que las grandes estrellas, ya que su tasa de consumo de combustible no es tan rápida.

2.4.1 EVOLUCIÓN

Una estrella nace cuando una nube de gas y polvo colapsa hasta el punto en el que el material en el centro de la nube es tan denso y caliente que puede ocurrir la fusión nuclear de los núcleos de hidrógeno en núcleos de helio. El flujo de energía liberada por estas reacciones proporciona la presión necesaria para detener el colapso.



Formación estelar: Nebulosa de la Tarántula (30 Doradus) - Créditos: Aldo Mottino / Estación Astrofísica de Bosque Alegre, Córdoba, Argentina

Cuando el hidrógeno en el núcleo de la estrella se agota, el flujo de energía desde el núcleo de la estrella se detiene, entonces las regiones centrales de la estrella poco a poco colapsarán y se calentarán. Las reacciones nucleares en una cáscara de gas afuera del núcleo proporcionará una nueva fuente de energía, y harán que la vieja estrella se expanda hacia afuera en la fase de "gigante roja".

La masa inicial del objeto determina qué tipo de fusiones la estrella podrá llevar a cabo, y a partir de eso se conoce cómo será la muerte de la estrella. A continuación se detalla el estado final de cada objeto de acuerdo con su masa inicial (en función de la masa solar M_o):

Masa Inicial - M	Estado final
$M < 0.01\ M_o$	planeta
$0.01\ M_o < M < 0.08\ M_o$	enana marrón
$0.08\ M_o < M < 9\ M_o$	nebulosa planetaria + enana blanca
$9\ M_o < M < 30\ M_o$	supernova + estrella de neutrones
$M > 30\ M_o$	supernova + agujero negro

Si la estrella es aproximadamente de la misma masa que el Sol, se convertirá en una gigante roja, luego liberará sus capas externas en forma de nebulosa planetaria y finalmente el núcleo quedará convertido en una estrella enana blanca.

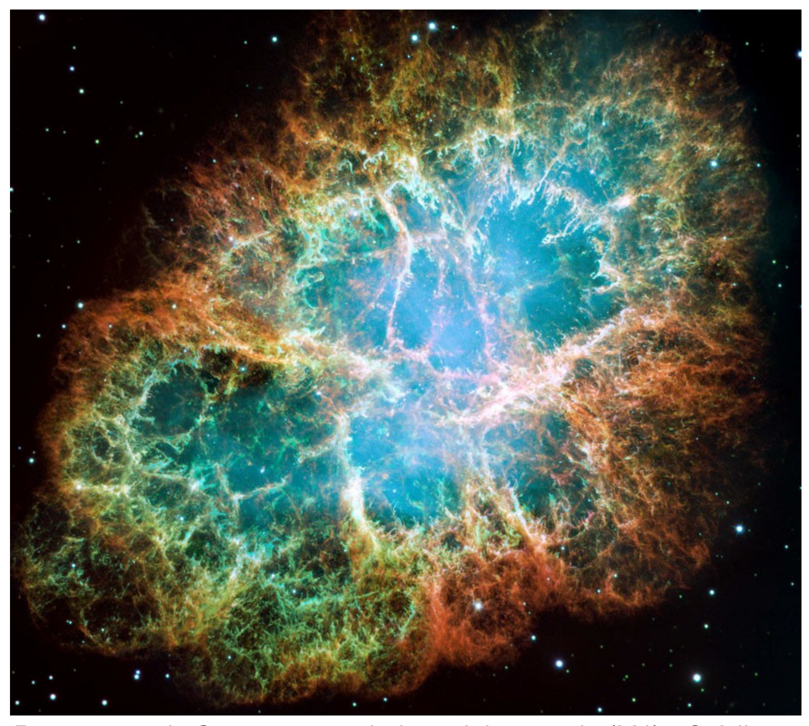
Si es más masiva, puede experimentar una explosión de supernova y dejar detrás una estrella de neutrones. Pero si el núcleo de la estrella es muy grande, por lo menos tres veces la masa del Sol, nada puede detener el colapso. La parte central de la estrella - o la estrella entera si es lo suficientemente masiva - implosiona para formar un campo gravitatorio muy grande en el espacio llamado agujero negro.

Estadíos intermedios: nebulosa planetaria y supernova

Las estrellas similares al sol y hasta 9 masas solares terminarán sus días como enanas blancas. Pero para llegar a ese estadío pasarán por distintas fases. Antes de su muerte, una estrella pierde masa. Cuando ha usado el último hidrógeno, y luego lo que quedaba de helio, se expandirá transformándose en una estrella gigante roja, de más de cien veces el radio del Sol y más de mil millones de veces su volumen. La gravedad en las capas exteriores de una gigante roja es muy baja. También comienza una pulsación, una rítmica expansión y contracción. Debido al gran tamaño de una gigante roja, cada ciclo de la pulsación lleva meses o años. Esto acaba llevando a las capas exteriores de la estrella hacia el espacio, formando una hermosa nebulosa planetaria, en lenta expansión alrededor de la estrella que muere. Los gases en la nebulosa planetaria son excitados hasta producir fluorescencia por la luz ultravioleta que proviene del núcleo caliente de la estrella. Finalmente, se aparta de la estrella, y se une con otro gas y polvo para formar nuevas nebulosas de las cuales nacerán nuevas estrellas. Ese material que se aleja del centro es tan tenue y se va volviendo tan delgado, que en 50.000 años ya no es posible observarlo, por lo que todas las nebulosas planetarias que observamos son muy jóvenes.

Nebulosa Planetaria: Hélice (NGC 7293) - Créditos: NASA, WIYN, NOAO, ESA, Hubble Helix Nebula Team, M. Meixner (STScI), & T. A. Rector (NRAO) / http://apod.nasa.gov/apod/ap030510.html

Las estrellas masivas son calientes y de gran potencia, pero muy raras. Tienen una vida corta de unos pocos millones de años. Sus núcleos son lo suficientemente calientes y densos como para fusionar elementos hasta el hierro. Cuando sólo hay hierro en el centro, no son posibles más reacciones nucleares y sin la presión de radiación la estrella tiene un inevitable colapso gravitatorio sobre sí misma, pero esta vez sin posibilidad de encender ya nada. En esa caída los núcleos atómicos y los electrones se van juntando formando en el interior neutrones que se apilan. En ese momento, toda la parte central de la estrella consiste en neutrones en contacto unos con otros, con una densidad tal que una cucharadita pesaría tanto como todos los edificios de una gran ciudad juntos. Y como los neutrones están en contacto unos con otros, la materia no puede contraerse más y la caída a velocidades del orden de la cuarta parte de la velocidad de la luz de todas las capas más externas se detiene de golpe, produciendo un rebote hacia atrás en forma de onda de choque que es uno de los procesos más energéticos que se conoce en el Universo: una sola estrella en explosión puede brillar más que una galaxia entera, compuesta por miles de millones de estrellas. En ese rebote se producen los elementos más pesados que el hierro, como el plomo, el oro, el uranio, etc., que salen violentamente despedidos a velocidades de hasta 10.000 km/s junto con toda la parte externa de la estrella. En el interior queda una estrella de neutrones girando a gran velocidad, o un agujero negro. Un modelo simplificado para el rebote de los átomos pesados contra el núcleo macizo, y el de éstos contra los más ligeros que vienen detrás cayendo desde las capas superficiales de esa gigantesca cebolla, se puede representar de forma fácil y un tanto espectacular con una pelota de básquet y una pelota de tenis, dejándolas caer juntas (la de básquet abajo y la de tenis encima) sobre un terreno duro. En este modelo, el suelo representa el núcleo macizo de la estrella de neutrones, la pelota de básquet sería un átomo pesado que rebota, y a su vez empuja al átomo ligero que viene detrás de él, representado por la bola de tenis.



Remanente de Supernova: nebulosa del cangrejo (M1) - Créditos: telescopio Hubble - NASA, ESA, J. Hester, A. Loll (ASU), Davide De Martin (Skyfactory) / http://apod.nasa.gov/apod/ap111225.html

Una supernova es una explosión estelar que puede manifestarse de forma muy notable, incluso a simple vista, en lugares de la esfera celeste donde antes no se había detectado nada en particular. Las supernovas producen destellos de luz intensísimos que pueden durar desde varias semanas a varios meses. Se caracterizan por un rápido aumento de la intensidad hasta alcanzar un máximo, para luego decrecer en brillo de forma más o menos suave hasta desaparecer completamente. Hace más de 400 años que no se observa una supernova en la Vía Láctea. En este momento, Betelgeuse (en Orión) es la candidata en la que están puestos todos los ojos esperando que estalle como supernova.

La explosión de supernova provoca la expulsión de las capas externas de la estrella por medio de poderosas ondas de choque que se desplazan a a varios miles de kilómetros por segundo, enriqueciendo el espacio que la rodea con elementos pesados. Los restos eventualmente componen nubes de polvo y gas. Cuando el frente de onda de la explosión alcanza otras nubes de gas y polvo cercanas, las comprime y puede desencadenar la formación de nuevas estrellas (quizá con planetas, al estar las nebulosas enriquecidas con los elementos procedentes de la explosión). Estos residuos estelares en expansión se denominan remanentes y pueden tener o no un objeto compacto en su interior. Dicho remanente terminará por diluirse en el medio interestelar al cabo de millones de años.

2.4.2 EL FINAL DEL SOL



Créditos: Ron Miller - http://io9.com/what-the-death-of-the-sun-will-look-like-471796727

1 - Dentro de 1.200 millones de años, el Sol comenzará a cambiar. A medida que el hidrógeno en su núcleo se agota, el proceso de fusión se extiende hacia fuera, hacia la superficie. Esto hará que el Sol sea más brillante. Este aumento de la radiación tendrá un efecto devastador en nuestro planeta. La temperatura media de la superficie de la Tierra se elevará de 20° C a 75 ° C. Los océanos de la Tierra se evaporarán. El planeta se convertirá en un rígido desierto sin vida.

2 - Cuando se acerque a la edad de 8 mil millones de años, el Sol se quedará sin hidrógeno casi en su totalidad. El Sol comenzará a utilizar helio para generar energía. Después de todos estos años, el núcleo del Sol se llenará de restos de helio. El helio se volverá inestable, ya que comienza a colapsar bajo su propio peso. El núcleo del Sol se volverá aún más denso y más caliente. Mientras esto sucede, el Sol se hinchará 1,5 veces su tamaño normal y será más del doble de brillante de lo que es ahora.

3 - Durante los siguientes 700 millones de años, no se volverá más brillante. Pero va a seguir creciendo en tamaño. Aumentará a más del doble de su tamaño actual. Al hacerlo, se enfriará un poco. Desde la superficie seca de la tierra, el Sol se verá como una enorme bola de color naranja que cuelga en el cielo brumoso. A la edad entre 11-12 mil millones de años el Sol habrá expulsado más de una cuarta parte de su masa. Con un Sol menos masivo para atraer los planetas, las

órbitas van a cambiar. Venus se volverá tan distante como la Tierra es ahora, y la Tierra se moverá aún más lejos. Con el tiempo, el Sol se convertirá en una gigante roja. Llegará a ser 166 veces más grande que el Sol actual. Esto es casi tan grande como la órbita de la Tierra en la actualidad. Los planetas Mercurio y Venus serán devorados por las llamas de la estrella gigante. Las montañas de la Tierra se fundirán y fluirán como una melaza al rojo vivo en vastos mares de lava. Un Sol rojo hinchado llenará más de la mitad del cielo.

4 - Si bien esto explica la muerte de los planetas interiores, esto también traerá nueva vida a los mundos más distantes. Aquí vemos a los témpanos de hielo de Europa derritiéndose bajo el calor de un Sol gigante...

5 - ... y Plutón disfrutará de la luz y el calor de un Sol que es aún más importante en su cielo de lo que una vez lo fue en la Tierra.

6 - Cuando el Sol alcance su tamaño máximo, como una gigante roja, el núcleo de helio alcanzará una temperatura de 100 millones de grados. Esto es lo suficientemente caliente como para provocar la fusión del helio. Cuando esto sucede, los átomos de helio se trituran juntos, y una liberación de grandes cantidades de energía se produce en el proceso. Al principio parecerá como si el Sol se hubiese conseguido una nueva oportunidad de vida. Disminuye de tamaño, a pesar de que nunca conseguirá menos de diez veces su tamaño. Se iniciará un período que durará los próximos 110 millones de años durante el cual habrá pocos cambios. Nuevos elementos se crean cuando se fusiona helio, como el carbono y el oxígeno. A medida que estos elementos se acumulan en el núcleo del Sol, nuevas reacciones se realizan. Una vez más el Sol duplicará su tamaño. Por último, el núcleo se quedará sin helio. El carbono y el oxígeno se derrumbarán, pero no será suficiente para comenzar nuevas fusiones. Sin combustible, el Sol se acercará al principio del fin. Crecerá hasta alcanzar un tamaño enorme mientras que los últimos coletazos del helio e hidrógeno serán lanzados al espacio. Llegará a ser 180 veces más grande que el Sol que conocemos y miles de veces más brillante. Enormes cantidades de su materia serán arrojadas al espacio, hasta que se pierda cerca de la mitad de su masa. La pérdida de masa hará que los planetas Venus y la Tierra - ahora poco más que carbones quemados - se muevan incluso más lejos.

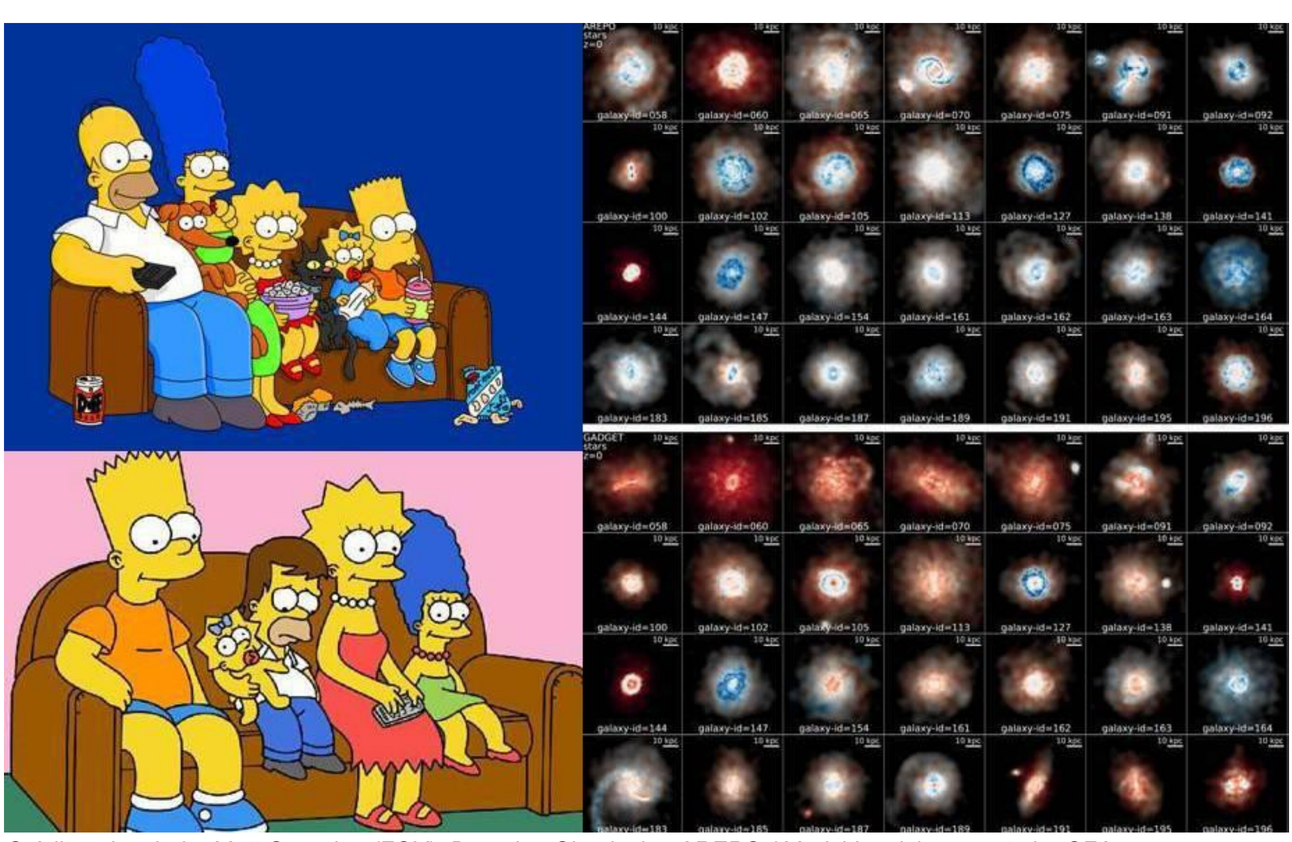
7 - La fina capa de helio restante que rodea el núcleo de carbono y oxígeno se volverá inestable. El Sol comenzará a latir con violencia, como la luz en la parte superior de un coche de policía. Cada vez que pulse, perderá más masa. Un impulso final soplará la superficie externa del Sol. Todo lo que queda es el núcleo desnudo. Esta será una esfera del tamaño de la Tierra actual.

8 -Esta estrella será muy caliente, pero es sólo el calor residual - nada va a reemplazarlo, ya que se pierde. Es como una brasa caliente en una parrilla, se enfriará lentamente hasta que finalmente se convierta en una ceniza fría. Esta última imagen muestra a la estrella enana blanca que alguna vez fue nuestro sol, vista desde el pedazo de carbón quemado que será nuestro planeta.

2.5 ¿CÓMO SE ESTUDIA LA EVOLUCIÓN DE OBJETOS ASTRONÓMICOS?

Los tiempos en los que ocurren cambios en los objetos son larguísimos, por ejemplo una estrella permanece inmutable durante unos miles de millones de años antes de agotar su hidrógeno y morir. Pero, ¿cómo saben los astrónomos que, por ejemplo, una dada estrella que es como el Sol va a convertirse en una gigante roja para finalmente terminar sus días como una enana blanca? Si nunca han podido ver a una misma estrella nacer, evolucionar y morir!!!

En astronomía, toda la información que tenemos de los objetos nos llega por la luz que ellos emiten. Entonces imaginemos que tenemos fotografías de miles de objetos de un tipo ¿Cómo saber la forma en la que cada una de ellos evoluciona? Para hacerlo más fácil, imaginemos por un momento que somos unos alienígenas que llegamos a la Tierra mucho después que la humanidad se haya extinguido y encontramos baúles con fotos familiares. Y esa es toda la información con la que contamos para estudiar a los humanos. Agarramos una foto en la que aparece un bebe, en los brazos de un padre, junto a un anciano. Ya que desconocemos totalmente la población de especies que hubo en la Tierra y su evolución, podríamos pensar que hubo una especie de petizos que precisaban ser alzados por las otras especies de mayor tamaño para desplazarse, y aún otra especie diferente con la piel arrugada y el pelo blanco. O podríamos pensar que en realidad son todos de la misma especie en distintos estados de evolución: nacen arrugados y con pelos blancos, a medida que pasan los años se estiran y aumentan el tamaño, y terminan sus días empequeñecidos pero sin ninguna arruga (al mejor estilo del hollywoodense caso de Benjamin Button), o bien podríamos acertar.



Créditos: Izquieda: Matt Groening (FOX). Derecha: Simulacion AREPO / Mark Vogelsberger et al. - CFA

Hay diferentes métodos para estudiar la evolución de objetos del universo.
Desde el punto de vista de la astronomía observacional lo que se hace es comparar distintos objetos y tratar de inferir, por medio del estudio de sus propiedades, cuáles son sus edades. Cuanto mayor sea el número de objetos que se estudian, mejor conoceremos todos los estadíos

de la evolución. Entonces, volviendo al ejemplo, a medida que abramos más y más baúles de fotos encontraremos más y más detalles. Descubriremos una etapa donde los humanos tienen raros peinados y granos en la cara, otra etapa donde son de tamaño pequeño pero pueden desplazarse solos, etc, etc. ¿Cómo hacemos para encontrar la secuencia real en la que sucede esa evolución?

En este punto entra en juego otra parte importante de la Astronomía: los modelos. Existen modelos puramente teóricos y analíticos, en los que mediante ecuaciones se puede describir el comportamiento del Universo a lo largo de su historia. Además de aplicar todas las leyes físicas que conocemos, lo importante es que el resultado final sea comparable al Universo que observamos. De esa manera se modela la evolución de los objetos.

Otra forma de estudiar la evolución de los objetos es a través de simulaciones numéricas que se realizan utilizando grandes computadoras. En estas simulaciones los objetos se construyen con las más básicas leyes de la física (la gravedad), y haciendo avanzar el tiempo se puede analizar cómo los objetos van cambiando con el tiempo, así por ejemplo podemos analizar cómo el choque de 2 galaxias espirales puede resultar en una única galaxia elíptica.

Y una tercera opción, es fusionando los modelos teóricos con los numéricos. De esta manera cada componente del Universo puede ser estudiada en diferentes etapas de su evolución. Por supuesto que cada modelo que utilicemos al final tiene que ser capaz de reproducir cada uno de los resultados que se obtienen desde la parte observacional.

En el siguiente enlace les compartimos un video de galaxias realizadas con la más moderna simulación numérica en la que se analiza el gas, las estrellas, la materia oscura y la energía oscura. Este video empieza cuando el universo tenía 4 mil millones de años y evoluciona hasta la actualidad. En particular se muestra una galaxia del tipo de la Vía Láctea, y pueden verse a algunas vecinas del tipo de Andrómeda y la galaxia Remolino: http://www.youtube.com/watch?v=-ZcEDqyMbFw

Referencias:

http://sac.csic.es/astrosecundaria/libro/conferencias/C1%20Evolucion%20de%20las%20estrellas%20final.pdf

http://sac.csic.es/astrosecundaria/libro/talleres/T6%20Vida%20de%20las%20estrellas%20%20final.pdf

http://www.youtube.com/watch?v=eKaVRy6Vx8U&NR=1&feature=endscreen

http://www.youtube.com/watch?v=0iGGmt8ieAU

http://red-estelar.webcindario.com/Tipos-de-estrellas.html

http://red-estelar.webcindario.com/Evolucion-estelar.html

http://astro.unl.edu/naap/hr/hr.html

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/html/astronomia.html

http://aspire.cosmic-ray.org/labs/star_life/starlife_main.html

http://chandra.harvard.edu/xray_sources/stellar_evolution.html

http://chandra.harvard.edu/graphics/edu/earth_scientist_stars.pdf

http://www.cfa.harvard.edu/itc/research/movingmeshcosmology/index.html

http://io9.com/what-the-death-of-the-sun-will-look-like-471796727

Actividades:

http://cas.sdss.org/dr5/sp/proj/advanced/spectraltypes/

http://astro.unl.edu/naap/hr/animations/hr.html

CAPÍTULO 3: Galaxias

" ¿Quiénes somos? Encontramos que vivimos
en un planeta insignificante de una estrella monótona
perdida en una galaxia escondida en algún rincón olvidado
de un Universo en el que hay muchas más galaxias que personas"
Carl Sagan (1934 – 1996)

3.1 HISTORIA DE LA CONCEPCIÓN DE LAS GALAXIAS

Galileo Galilei (1564 – 1642)	En 1611 observó por un telescopio la llamada "Vía Láctea" y descubrió que estaba compuesta por infinidad de estrellas
Immanuel Kant (1724 – 1804)	Desde el campo de la filosofía, en 1755 afirmó que la Vía Láctea era un sistema formado por miles de sistemas solares como el nuestro, agrupados en una estructura de orden superior, sensiblemente plana, en movimiento de rotación alrededor de un centro y regida por la misma mecánica celeste. Supuso que el Sol se encontraba en ese plano formando parte de esa estructura. Supuso la existencia de otros planetas y satélites orbitando alrededor de otras estrellas y que debían existir otras Vías Lácteas
Charles Messier (1730 – 1817)	Construyó un catálogo de 103 objetos a los que denominó "Nebulosas y cúmulos de estrellas"
William Herschel (1738 – 1822)	Construyó un catálogo con 2514 nuevos objetos de espacio profundo. En base a sus observaciones, plantea la idea de "Universos Islas" similar a la idea de Kant
Herbert Curtis (1872 – 1942)	En 1917, mediante la observación de 11 novas en el objeto Messier 31 (Andrómeda), comprobó que eran 10 veces más débiles que las novas de la Vía Láctea. Esto lo convirtió en un defensor de los "universos islas", sosteniendo que las nebulosas espirales eran galaxias independientes
Harlow Shapley (1885 – 1972)	En 1920 protagonizó "el gran debate" en la academia nacional de ciencias de E.E.U.U. junto a H. Curtis, en donde sostuvo que el universo estaba constituido por una única galaxia, la Vía Láctea, en la cual el sol no se encontraba en su centro.

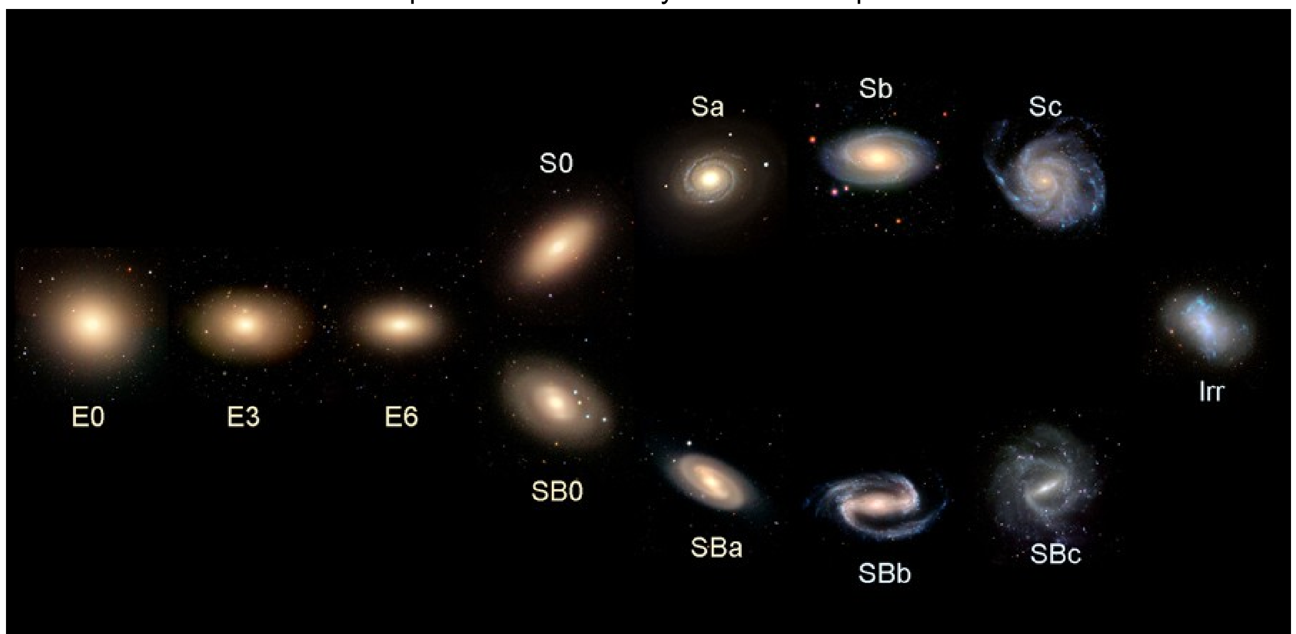
Edwin Hubble (1889 – 1953)	Utilizando un nuevo telescopio pudo resolver las partes exteriores de algunas nebulosas espirales como colecciones de estrellas individuales, identificó estrellas variables cefeidas que le permitieron estimar las distancias a dichas nebulosas, y encontró que estaban demasiado lejos para ser parte de la Vía Láctea. En 1936 creó un sistema de clasificación de galaxias, aún en uso.

Las galaxias son conjuntos de estrellas, gas, polvo y materia oscura unidos gravitacionalmente. Las galaxias contienen típicamente entre mil millones y más de un billón de estrellas, y sus tamaños varían de acuerdo con su forma, entre 10 mil y 200 mil años luz de diámetro.

3.2 CLASIFICACIÓN DE LAS GALAXIAS

3.2.1 POR MORFOLOGÍA

Hubble, en 1936, realizó una clasificación general de las galaxias de acuerdo con su forma, conocida como "Secuencia de Hubble" o diagrama diapasón. En líneas generales, las galaxias se clasifican en Elípticas (E), Lenticulares (SO), Espirales (S), Espirales barradas (SB) e Irregulares (Irr). Dentro de cada categoría se pueden encontrar subclasificaciones más finas(1...7 o a-b-c), teniendo en cuenta la forma específica del núcleo y los brazos espirales.

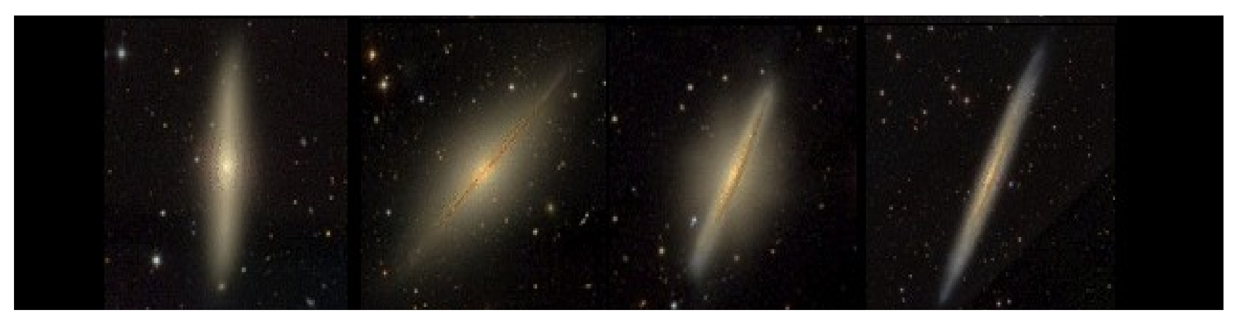


Créditos: Galaxy ZOO - http://blog.galaxyzoo.org/2010/05/12/types-of-galaxies/

En general, las galaxias elípticas son como grandes pelotas de rugby o huevos borroneados, y se ven de color rojizo. Eso se debe a que contienen poco gas y a que la mayoría de sus estrellas son viejas y frías. Las estrellas se distribuyen alrededor del centro de la galaxia uniformemente en todas las direcciones. Las galaxias más grandes en el universo son galaxias elípticas gigantes que en general se encuentran en el centro de grandes agrupaciones de galaxias llamadas cúmulos.

Las galaxias lenticulares presentan un núcleo prominente, similar a las elípticas, pero además presentan un delgado disco alrededor del núcleo. Muchas veces es difícil distinguir una elíptica de una lenticular si el disco no es muy visible.

Las galaxias espirales tienen un núcleo y un disco prominente sobre el que hay brazos espirales. El núcleo contiene poco gas y tiene estrellas viejas, por lo que tiene color rojizo, mientras que en el disco y los brazos espirales se deposita la mayor cantidad de gas y polvo, y también las estrellas jóvenes, por lo que se ve de un color blanco azulado cuando las vemos de frente, y pueden verse con una banda oscura (debido al polvo) si las vemos de perfil como en la imagen de más abajo.



Créditos: http://www.astro.virginia.edu/class/whittle/astr553/Topic02/Lecture_2.html

Las galaxias espirales además tienen un halo esférico que rodea a todo el disco, en el que se distribuyen numerosos cúmulos estelares globulares (conjuntos de miles o millones de estrellas), formados generalmente por estrellas viejas.

Los brazos espirales, probablemente, se formaron como resultado de ondas que barren el disco galáctico. Como las ondas en el océano, las también llamadas "ondas de densidad" no transportan nada de materia con ellas - se mueven interrumpiendo el tránsito de la materia por la que pasan. En el caso de las galaxias, las ondas de densidad presionan las nubes de gas interestelar, causando que nuevas estrellas se formen dentro de las nubes, esas serán las estrellas jóvenes y azules que están renovándose constantemente. Los espacios entre los brazos contienen las estrellas más viejas que no son tan brillantes. En algunas espirales, las ondas de densidad organizan las estrellas del centro en una barra. Los brazos de las galaxias espirales barradas forman espirales hacia afuera a partir de los extremos de la barra. Nuestra galaxia, la Vía Láctea, es una galaxia del tipo espiral barrada. Nuestra vecina Andrómeda es una galaxia Espiral.

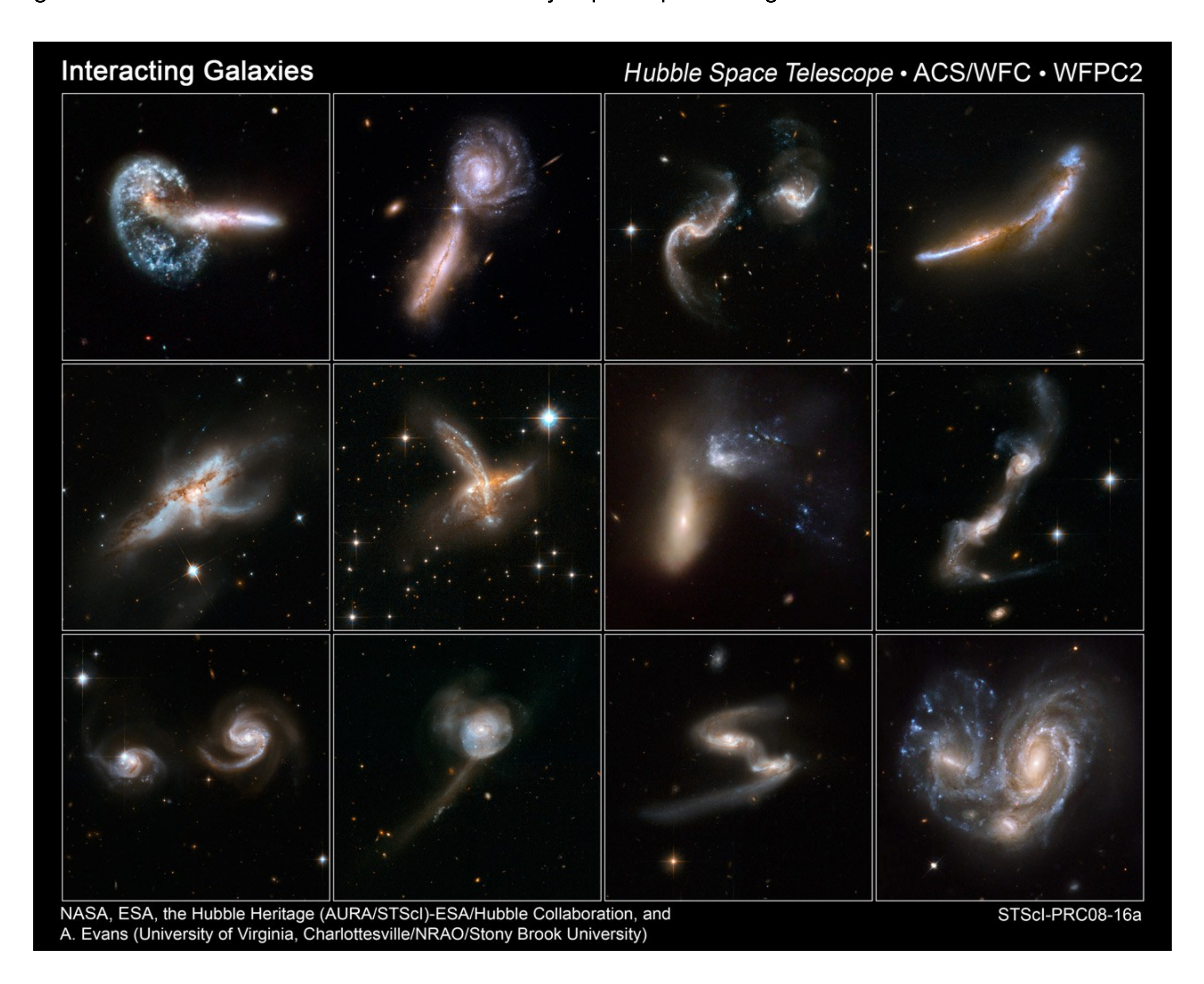
Las galaxias Irregulares no tienen una forma bien definida; sus estrellas, gas y polvo se esparcen al azar. Las irregulares son las galaxias más pequeñas, y pueden contener no más de un millón de estrellas. Pueden ser los ladrillos para formar las primeras galaxias grandes. El ejemplo más cercano y conocido de este tipo de galaxias son las Nubes de Magallanes (mayor y menor) que son visibles a simple vista desde la Tierra.

La mayoría de las galaxias grandes contienen además en su centro un agujero negro supermasivo que suele ser unas tres mil millones de veces más pesados que el Sol .

3.2.2 POR DINÁMICA

Las galaxias están en movimiento (no sólo sus componentes internos, sino como un todo). Las galaxias pueden ser clasificadas como galaxias normales o galaxias peculiares de acuerdo con el grado de interacción que tuvieron con otras galaxias. Las galaxias normales, a su vez, pueden ser clasificadas de acuerdo con la secuencia de Hubble que mencionamos anteriormente. Las

galaxias peculiares son galaxias que han sufrido interacciones con sus vecinas que les han provocado cambios en sus formas, por lo que no es posible asignarles una morfología específica. Las interacciones pueden haber sido pasajes cercanos a otras galaxias o choques (fusiones) con otras galaxias. Cuando dos galaxias se fusionan, el principal componente que es modificado es el gas de las galaxias: se producen estallidos de formación estelar. Las estrellas no chocan entre ellas (el espacio interestelar es demasiado grande), pero sí pueden sufrir una redistribución, pasando a formar parte de lo que se llaman puentes entre las dos galaxias, o colas en las galaxias. A continuación se muestran unos ejemplos típicos de galaxias interactuantes:



La Vía Láctea y su vecina Andrómeda se están aproximando, por lo que dentro de 4 mil millones de años se fusionarán.

Existe un proyecto internacional por el cual se invita al público en general a clasificar galaxias. Empezando con un tutorial de entrenamiento, los usuarios acceden a imágenes astronómicas para ayudar a los científicos a clasificar galaxias. Ese proyecto es llamado Galaxy ZOO y la participación es gratuita y está traducido al español, sólo es necesario tener una conexión a internet: http://www.galaxyzoo.org/?lang=es

3.3 GRUPOS Y CÚMULOS DE GALAXIAS

Las galaxias en el Universo tienden a agruparse debido a la fuerza de la gravedad. El 80% de las galaxias se encuentran formando grupos o cúmulos de galaxias. Los grupos de galaxias pueden estar formados por pares de galaxias o hasta unas pocas decenas de galaxias. Los cúmulos son sistemas formados por centenas de galaxias, y son los sistemas más grandes en equilibrio en el Universo. En estos sistemas hay además grandes cantidades de gas caliente y materia oscura entre las galaxias.



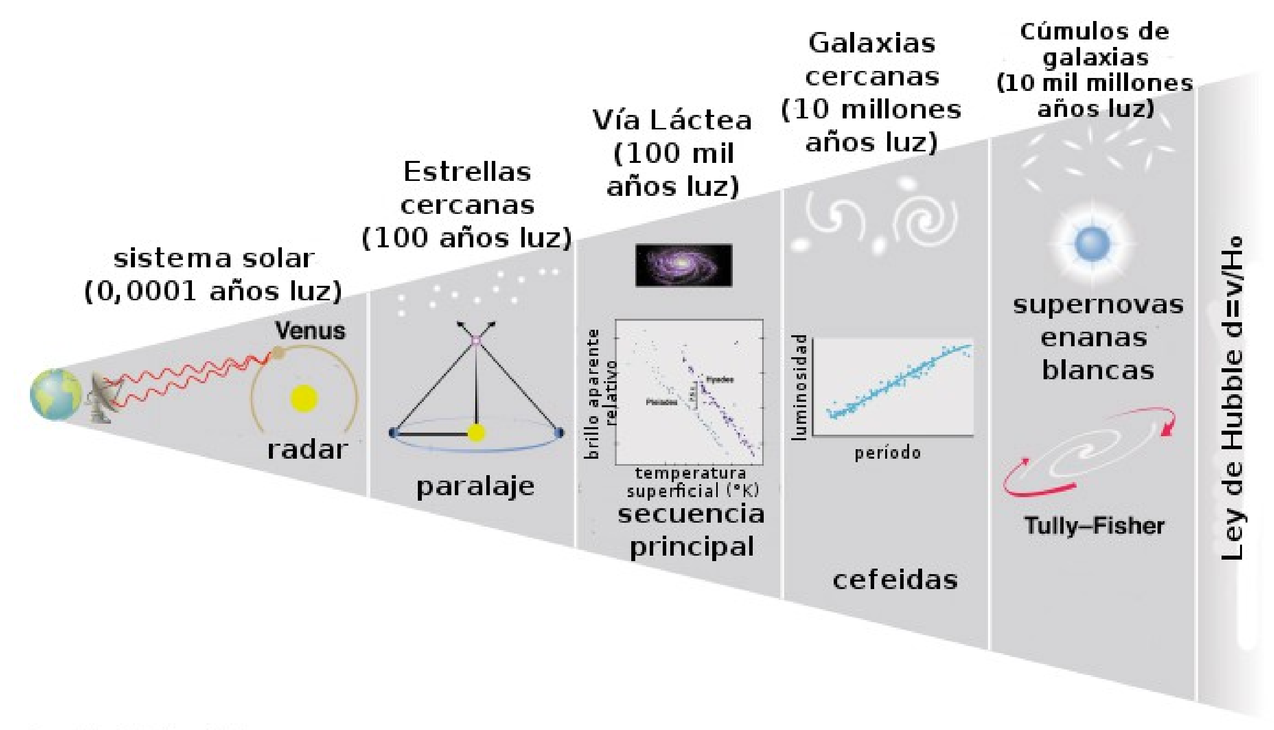
Cúmulo Abel 2744 - Créditos: Telescopio Espacial Hubble / NASA, ESA, and J. Lotz, M. Mountain, A. Koekemoer, and the HFF Team (STScI)

Nuestra galaxia, la Vía Láctea, pertenece a un grupo denominado ‘Grupo Local’ formado por 3 galaxias espirales grandes (la Vía Láctea, Andrómeda y Triángulo) y más de 30 galaxias más pequeñas denominadas galaxias enanas.

El estudio de los grupos y cúmulos de galaxias sirve para estudiar el efecto que un entorno sobredenso produce en la evolución, morfología y color de las galaxias. Las interacciones entre galaxias en grupos y cúmulos son frecuentes. Todas las galaxias dentro de un grupo están en movimiento, pero además, las galaxias grandes tienen pequeñas galaxias (galaxias enanas) que orbitan alrededor de las galaxias principales. A ese tipo de galaxias enanas se las denomina “galaxias satélites”. Por ejemplo, las 2 galaxias enanas denominadas Nubes de Magallanes (Nube Mayor y Nube Menor) están orbitando alrededor de la Vía Láctea.

3.4 MEDICIÓN DE DISTANCIAS A LOS OBJETOS ASTRONÓMICOS

Existen diferentes métodos para medir la distancia a la que se encuentra un objeto. Cada método tiene sus limitaciones: son útiles para medir distancias a objetos que se encuentren dentro de cierta distancia. Es por eso que por lo general se pueden enumerar los métodos dentro de lo que se conoce como “escalera de distancias”. Cada escalón en esa escalera incluye un método que nos permite determinar la distancia a objetos más y más lejanos. Si bien hay muchísimos métodos distintos, haremos a continuación un breve resumen de los más utilizados. Sólo es posible medir la distancia de manera directa cuando los objetos son muy cercanos, las mediciones de distancias más grandes se realizan a través del uso de propiedades intrínsecas de los objetos, leyes y modelos.



3.4.1 RADAR

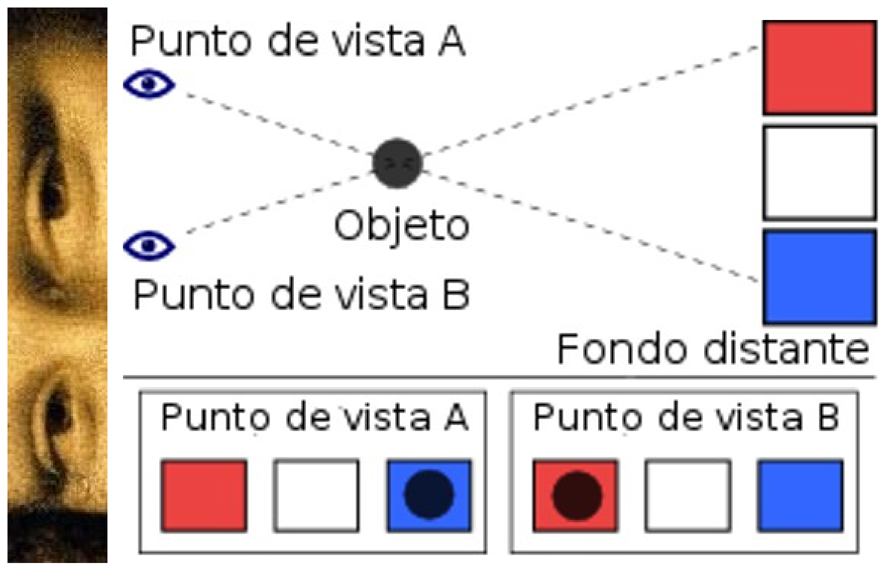
Las distancias dentro del sistema solar se determinan con muchísima precisión a través de una variedad de métodos, algunos métodos geométricos, tales como el movimiento de los planetas en el cielo (eclipses, tránsitos), o utilizando radares: se envía un haz de luz de longitud de onda de radio para que rebote en el planeta al que queremos medir la distancia; dado que se conoce la velocidad de la luz en el vacío, la distancia es determinada midiendo el tiempo que demora la onda en regresar hasta la Tierra); o midiendo las demoras de las señales de las sondas interplanetarias.

Estos métodos son útiles sólo dentro del sistema solar, podemos llegar a medir distancias hasta 0,0001 años luz, es decir, ~1 hora luz.

3.4.2 PARALAJE

Se le llama paralaje al movimiento aparente de la posición de un objeto respecto de algún otro objeto más lejano de fondo debido al movimiento en la posición del observador.

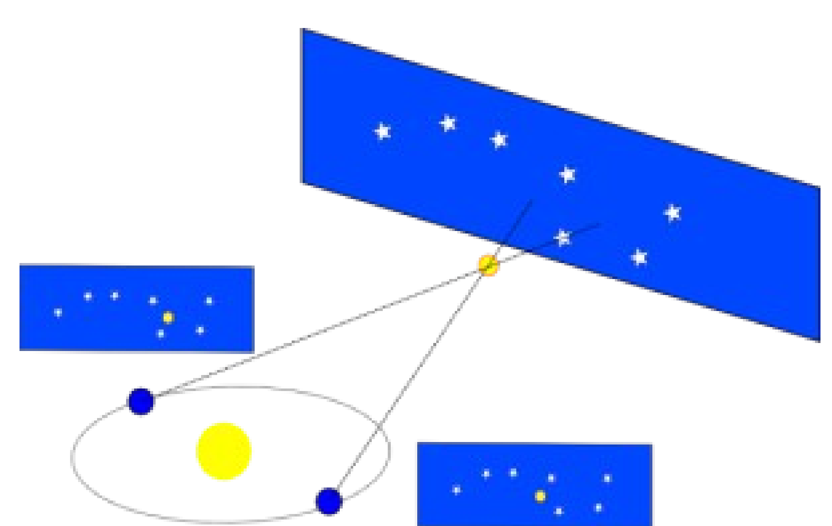
En otras palabras, la paralaje es un efecto de perspectiva de la geometría de una situación: es la posición observada de un objeto con respecto a otro. En la siguiente figura, un observador en la posición A, verá al objeto proyectado sobre el cuadro azul, mientras que un observador en la posición B, verá al mismo objeto proyectado sobre el cuadro rojo.



Los humanos en realidad ya estamos muy acostumbrados a la paralaje, ya que nuestros dos ojos producen un pequeño efecto de paralaje conocido como visión estéreo. El ojo izquierdo tiene un punto de vista ligeramente diferente al del ojo derecho. Esto puede comprobarse fácilmente si miramos un objeto muy cercano, y comparamos su posición respecto del fondo lejano cuando miramos con sólo un ojo o el otro. El cerebro utiliza las dos imágenes para crear la percepción de profundidad (junto con otras pistas). La contribución de la paralaje a la construcción de profundidad sólo funciona para objetos muy cercanos. Cuando un objeto está muy alejado, la variación en la posición del objeto de frente respecto a otros es tan pequeña que nuestros ojos y nuestro cerebro no pueden registrarla.

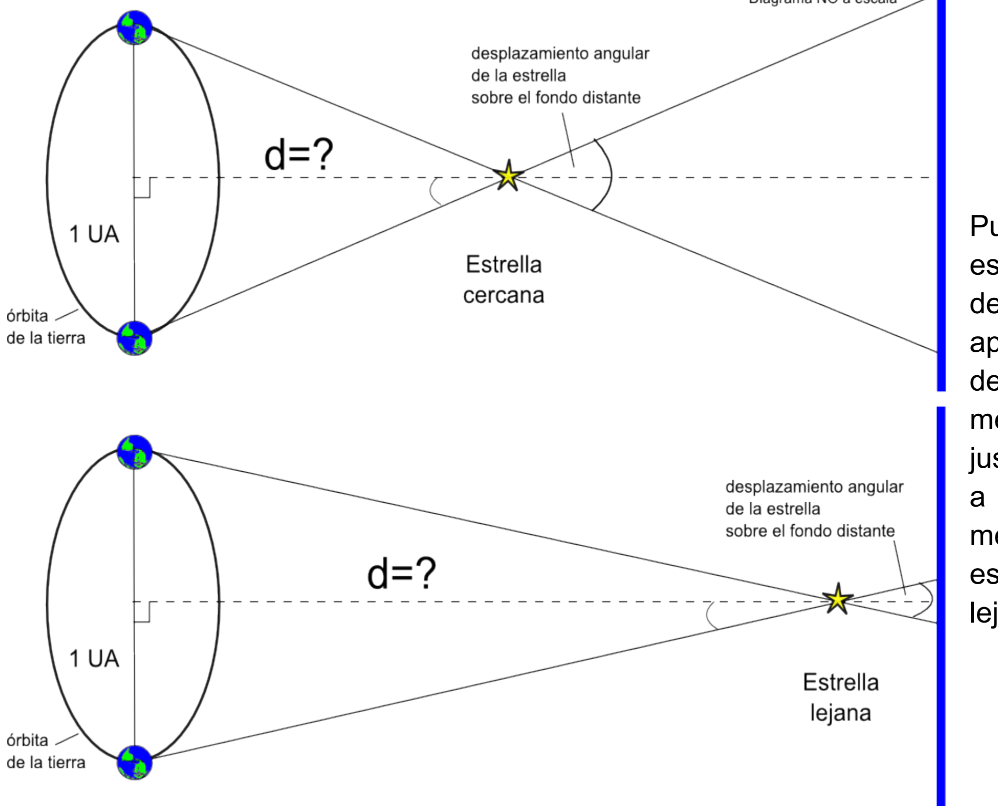
Las estrellas están muy lejanas – aún así, algunas estrellas están más próximas que otras. Las estrellas más cercanas presentan paralaje, aunque pequeña (mucho menor de lo que podría detectar el ojo humano a simple vista!). La primera medición exitosa de paralaje fue realizada por Friedrich Bessel en 1838, para la estrella 61 Cygni.

Para tener un efecto de paralaje más grande, es necesario tener una gran variación en la posición del observador. La mayor variación posible es 2 unidades astronómicas – el diámetro de la órbita terrestre. Ese corrimiento corresponde a dos posiciones de la tierra cada 6 meses. Asumiendo que una estrella no se mueve demasiado en 6 meses (lo cual es muy cierto), un astrónomo sólo necesita mirar la posición de la estrella una vez, esperar 6 meses y volver a ver la posición de la estrella siempre respecto de las estrellas distantes de fondo.



Fuente: Universidad de Nebraska-Lincoln /
http://astro.unl.edu/naap/distance/parallax.html

Luego de que el observador mide el ángulo del desplazamiento aparente de la estrella, con un poco de trigonometría se puede calcular la distancia a la estrella. A continuación se esquematiza la geometría del problema para dos estrellas distintas, una más próxima que la otra.



Puede verse que para estrellas más lejanas, el desplazamiento aparente sobre el fondo de estrellas (azul) es menor, y esto es justamente lo que limita a este método para medir distancias a estrellas mucho más lejanas.

El satélite Hipparcos, que estuvo en funcionamiento desde 1989 hasta 1993, era capaz de medir paralajes de 0,001 segundos de arco, por lo que pudo catalogar alrededor de 2,5 millones de estrellas más cercanas que 500 años luz; el recientemente lanzado (19/12/2013) satélite GAIA será capaz de medir ángulos mil veces más pequeños que Hipparcos, por lo que obtendrá un buen mapa tridimensional (posiciones angulares y distancias) de alrededor de mil millones de estrellas de nuestra galaxia (aproximadamente el 1% de las estrellas de nuestra galaxia).

La paralaje se utiliza también para definir una nueva unidad de distancia: el pársec. Un pársec es la distancia a la que estaría un objeto para que el ángulo de paralaje sea de 1 segundo de arco (el ángulo de paralaje es el que subtiende 1 Unidad Astronómica). Un pársec es equivalente a 3,26 años luz.

3.4.3 MÓDULO DE DISTANCIA – FAROLAS ESTÁNDARES

Para algunas estrellas más alejadas, en donde la precisión con la que se puede medir el desplazamiento aparente por paralaje no es suficiente, se puede comparar el brillo aparente de la estrella con su luminosidad (o brillo intrínseco).

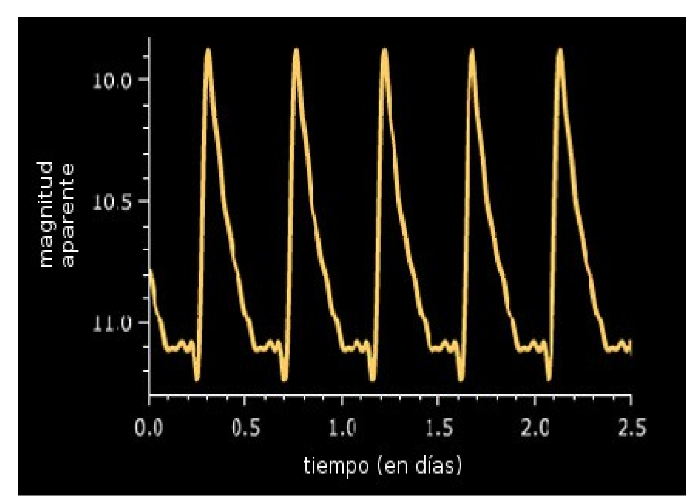
Imaginen a una persona que sostiene un foco de 100W. Si se aleja de nosotros, la lamparita nos parecerá más débil. Si se ubica muy cerca nuestro, la lamparita nos parecerá más brillante. Comparando qué tan brillante nos parece el foco con lo que sabemos que brilla intrínsecamente, podemos determinar la distancia a la que se encuentra. El brillo aparente disminuye como la inversa del cuadrado de la distancia. Como la paralaje, éste es un efecto puramente geométrico.

El “módulo de distancia” establece la relación entre brillo aparente y brillo intrínseco en términos de las magnitudes de los objetos (ver capítulo 5). Así, la diferencia entre la magnitud aparente (m) y la magnitud absoluta o intrínseca (M) define la distancia al objeto (en pársecs):

$$\mathbf{m - M = -5 + 5 \log_{10} d}$$

En la siguiente tabla se muestran algunos valores resueltos:

m-M	d (en pársecs)	d (en años luz)
0	10	32,6
1	16	52,16
2	25	81,5
3	40	130,4
4	63	205,38
5	100	326
6	160	521,6
7	250	815
8	400	1.304
9	630	2.053,8
10	1.000	3.260
15	10.000	32.600
20	100.000	326.000
25	1.000.000	3.260.000



Curva de luz de la estrella RRLyrae VX Her / Créditos: Universidad de Nebraska-Lincoln

Uno de los más conocidos indicadores de distancia son las estrellas RR Lyrae. Éstas son estrellas variables pulsantes – estrellas cuyo brillo varía en el tiempo debido a que están agrandándose y achicándose. Estas estrellas pulsan debido a la liberación de energía de las capas exteriores de la estrella varía con el tiempo (consecuencia de una capa de helio parcialmente ionizado). Cuando esa capa ionizada se acerca al centro de la estrella y se calienta – se vuelve opaca al flujo de radiación y la presión de radiación la empuja hacia afuera. Cuando la capa ionizada se aleja del centro de la estrella, se enfría y su opacidad disminuye. La radiación puede ahora escapar a través de esa capa y la capa vuelve a caer hacia el centro de la estrella.

Las estrellas RR Lyrae son muy buenas farolas estándar (objetos a los que se les puede determinar el brillo intrínseco por algún método). Las RR Lyrae tienen magnitudes absolutas próximas a M_V = 0,5. Sin embargo, ya que son estrellas pequeñas, débiles, no pueden ser observadas a grandes distancias. En la figura anterior se muestra la variación del brillo aparente de la estrella VX Her, una RR Lyrae. Se puede ver que el promedio del brillo aparente es aproximadamente 10,5. Así, el módulo de distancia para esta estrella es (m - M) = 10,5 – 0,5 = 10, lo cual, viendo la tabla anterior, corresponde a una distancia de 1.000 pársecs o 3.260 años luz.

Existen muchos otros objetos que los astrónomos utilizan con el módulo de distancia para obtener distancias. Todos involucran algún otro método por el cual los astrónomos primero descubren el valor de la magnitud absoluta (intrínseca) de esa clase de objeto, y luego miden la magnitud aparente para poder así obtener la distancia a través de la fórmula anterior.

3.4.4 PARALAJE ESPECTROSCÓPICA

Este método para medir distancias no tiene nada que ver con la paralaje geométrica que detallamos más arriba. El nombre paralaje sólo se lo mantiene para expresar que se quiere determinar una distancia. En el método de paralaje espectroscópica hace falta medir la magnitud aparente de la estrella y su espectro de luz. La información guardada en el espectro se utiliza para ubicar la posición de la estrella en el diagrama Hertzprung-Russell (ver capítulo 2.2).

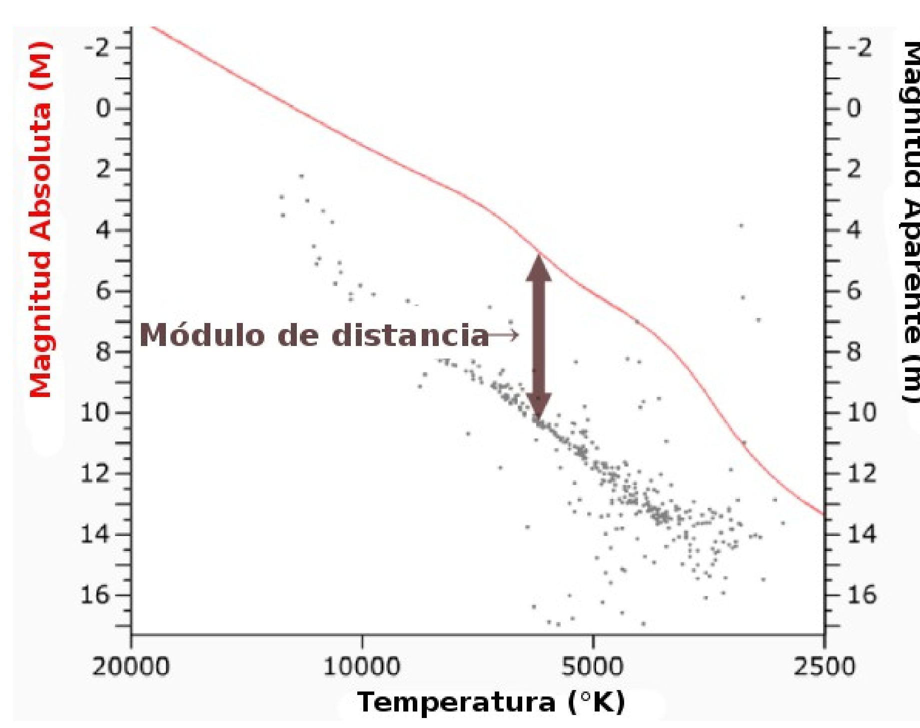
1 – Tomar el espectro
2 – Clases de líneas → tipo espectral → eje horizontal del HR
3 – Ancho de líneas → tipo de luminosidad → eje vertical del HR
4 – Ubicación en el HR → magnitud absoluta
5 – magnitud aparente + magnitud absoluta → módulo de distancia

La clase de líneas espectrales presentes en el espectro de una estrella permite a los astrónomos determinar el tipo espectral, el cual determina la posición en el eje horizontal en el diagrama HR. Para determinar la ubicación en el eje vertical hace falta analizar el grosor de las líneas espectrales de absorción. El grosor de las líneas está relacionado con la clase de luminosidad, que se divide en categorías que van de I a V en números romanos (el ancho de la línea está determinado por la densidad de átomos que absorben en las partes exteriores de la estrella – una estrella de secuencia tendrá lineas de absorción anchas en su espectro ya que la densidad de átomos en las capas exteriores es alta; mientras que una estrella supergigante (clase de luminosidad I) tendrá lineas espectrales delgadas debido a la baja densidad de los átomos absorbentes). La clase de luminosidad de la estrella determina la ubicación en el eje vertical del diagrama HR. Una vez que se conoce la ubicación de la estrella en el diagrama HR como la intersección de su clase espectral y su clase de luminosidad, entonces uno puede leer su magnitud absoluta.

Conocida su magnitud absoluta y combinada con la magnitud aparente que se le mide, a través de la fórmula del módulo de distancia se puede conocer la distancia a la estrella.

3.4.5 AJUSTE DE LA SECUENCIA PRINCIPAL

Este método también determina distancias a partir del diagrama HR, pero se aplica sólo a cúmulos estelares. Las estrellas de un cúmulo estelar están ligadas gravitacionalmente, todas se ubican a aproximadamente la misma distancia, y se formaron al mismo tiempo a partir de la misma nube de gas y polvo. Se asume que todos los miembros de un cúmulo estelar se encontrarán en la misma posición en el diagrama HR, y que son estrellas de secuencia principal.



La diferencia entre la magnitud aparente de las estrellas del cúmulo y la magnitud absoluta de las estrellas cercanas, determina el módulo de distancia. Fuente: http://astro.unl.edu/naap/distance/cluster_fitting.html

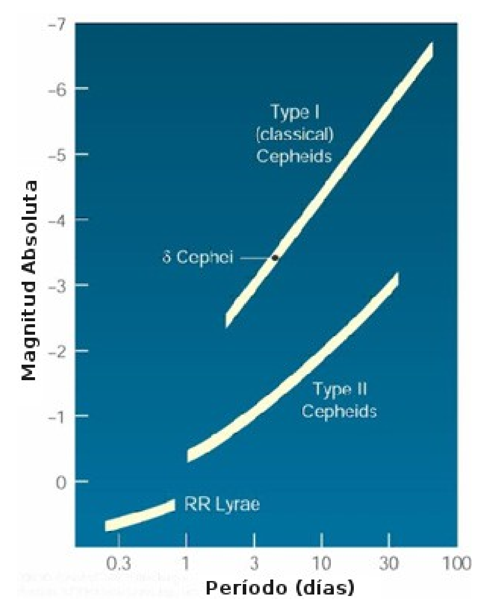
El método de ajuste de la secuencia principal compara: 1) la posición de la secuencia principal para el cúmulo estelar ubicado en un diagrama HR en el que se utiliza la magnitud aparente como eje vertical, con (2) la posición de la secuencia principal para estrellas cercanas cuyas distancias son bien conocidas por otro método (paralaje trigonométrica), y se usa como eje vertical la magnitud absoluta. La diferencia en las posiciones de las secuencias principales se deben a la distancia a la que está el cúmulo. La posición vertical de la secuencia principal del cúmulo estelar es ajustada verticalmente hasta que se ubique sobre la secuencia principal de

las estrellas cercanas. La cantidad que haga falta ajustar en el eje vertical es el módulo de distancia, el cual nos dará la distancia.

3.4.6 CEFEIDAS

Las variables Cefeidas son estrellas variables pulsantes similares a las RR Lyraes que se mencionaron antes (sección 3.4.3). Sin embargo, las Cefeidas tienen períodos de pulsación más largos y son estrellas mucho más grandes. Las Cefeidas han sido uno de los principales indicadores de distancia por muchos años. Aunque ellas no tienen todas la misma magnitud absoluta promedio, como las RR Lyraes, son más útiles ya que al ser estrellas más brillantes pueden ser observadas a mayores distancias, inclusive en otras galaxias.

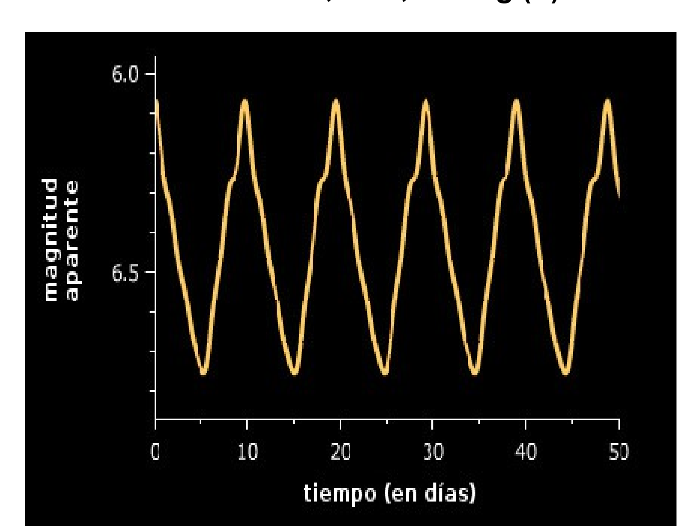
Henrietta Leavitt, en 1912, fue la primera en reconocer que existía una relación entre el período de pulsación y la luminosidad de las Cefeidas. Ella descubrió que las Cefeidas más grandes y más brillantes tienen períodos más largos, aunque ella no estaba segura respecto de la relación exacta. Harlow Shapley luego calibró las Cefeidas, relacionando el período de pulsación con la magnitud absoluta, lo que llevó a las primeras estimas del tamaño de la vía Láctea. Esa calibración del período-luminosidad ha ido mejorando con el tiempo y la relación más precisa que se tiene en la actualidad se puede ver en la figura de la derecha. Matemáticamente, podemos expresar la relación como



Créditos: Universidad de Nebraska – Lincoln [*http://astro.unl.edu/naap/distance/cepheids.html*](http://astro.unl.edu/naap/distance/cepheids.html)



M= -1,43 -2,81 * log (P)



Curva de luz de la estrella cefeida variable S Nor – Fuente: Universidad de Nebraska - [*http://astro.unl.edu/naap/distance/cepheids.html*](http://astro.unl.edu/naap/distance/cepheids.html)

Aquí se muestra la curva de luz de la estrella S Nor, la cual es una Cefeida. Puede verse que tiene un período de pulsación de 10 días y una magnitud aparente promedio de 6,5. A partir de la relación período-luminosidad (o mag. Absoluta), puede verse que para esta estrella su magnitud absoluta es -4. Por lo tanto el módulo de distancia es

6,5-(-4)=10,5

de donde, la distancia es 1260 pársecs o 4107 años luz.

Utilizando el telescopio espacial Hubble y este método de las Cefeidas, se han podido determinar distancias a galaxias ubicadas hasta a 60 millones de años luz de distancia.

3.4.7 RELACIÓN TULLY-FISHER y FABER-JACKSON

Mediante el estudio del movimiento de las estrellas de una galaxia, se pudo determinar que existe una relación entre la velocidad con la que se mueven esas estrellas y la luminosidad total de la galaxia. Las expresiones analíticas exactas son conocidas como relación Tully-Fisher para el caso de galaxias espirales, y relación Faber-Jackson para el caso de galaxias elípticas. Utilizando los espectros de las galaxias se puede medir la velocidad de sus estrellas, y mediante estas relaciones empíricas se puede determinar la luminosidad (o lo que es lo mismo, la magnitud absoluta) de las galaxias. Nuevamente, midiendo la magnitud aparente de la galaxia y usando la magnitud absoluta que calculamos, obtendremos el módulo de distancia y la distancia a la galaxia.

3.4.8 SUPERNOVAS

Una supernova es una estrella que explota violentamente. Las supernovas pueden producir tanta energía como toda una galaxia en un breve período de tiempo (algunas fueron tan brillantes que pudieron ser vistas inclusive de día). Sin embargo, son eventos muy raros. Se estima que sólo una o dos ocurren por siglo en nuestra galaxia.

Existen 2 tipos principales de supernovas. Las Tipo I involucran una estrella enana blanca que es parte de un sistema estelar binario. La enana blanca, una esfera del tamaño de la Tierra formada principalmente por carbono y oxígeno (el final de una estrella de baja masa), está robando material de su estrella compañera. La fuerza gravitatoria de la enana blanca se opone a la presión de radiación de su interior; pero existe un límite en la masa de la enana de 1,44 veces la masa del sol, llamado límite de Chandrasekhar, tal que si el material que está siendo succionado de la estrella compañera hace que la masa de la enana sea mayor al límite de Chandrasekhar, entonces ocurrirá una supernova. La enana blanca será entonces destruida en un fuerte estallido de fusión y no quedará ningún remanente.

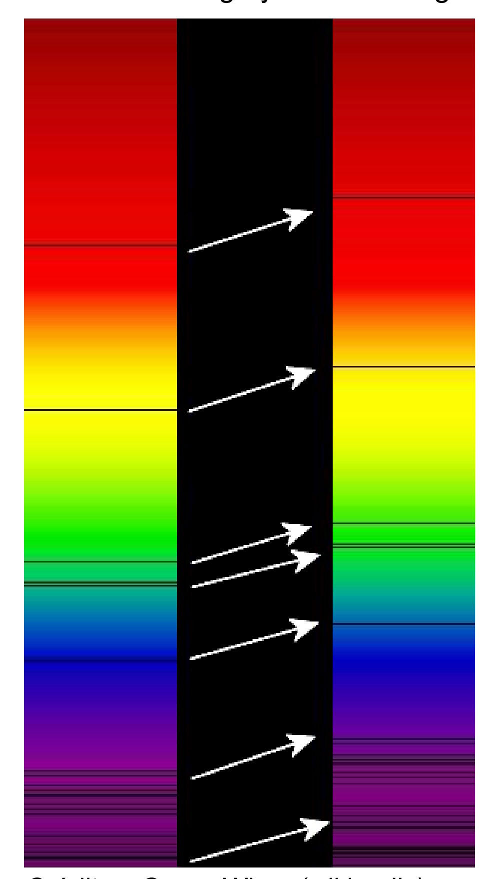
Las Supernovas Tipo II involucran estrellas muy masivas al final de sus vidas (ver capítulo 2). Estas estrellas fusionan elementos en sus núcleos – Carbono, Oxígeno, Magnesio, Neón, Silicio – y finalmente se forma un núcleo de hierro. Ya que el hierro Fe_{56} es el núcleo más estable, no es posible sacar más energía de fusión nuclear y la muerte de la estrella es inminente. El núcleo de hierro es comprimido a una ´presión y temperatura increíblemente altas por el peso del material que viene cayendo de las capas exteriores al haberse detenido la liberación de radiación, el núcleo de hierro prácticamente se desintegra, y todas las capas que vienen cayendo chocan contra ese núcleo comprimido y rebotan. Este tipo de supernova es menos energética que la de tipo I, y típicamente se forma una estrella de neutrones o un agujero negro al finalizar la actividad.

Debido a que las supernovas son eventos tan energéticos, los astrónomos pueden observarlas desde grandes distancias. Sin embargo, son eventos cortos que duran sólo un par de días, por lo que los astrónomos tienen que trabajar mucho para detectarlas antes de que alcancen el pico máximo de brillo y empiecen a debilitarse. Las supernovas son muy útiles como indicadores de distancia ya que es posible calibrarlas, esto es, relacionar el perfil de brillo observado (o aparente) con su magnitud absoluta. Las supernovas Tipo I son muy uniformes y fáciles de calibrar ya que los astrónomos pueden calcular la cantidad de energía que se produce cuando 1,44 veces la masa solar de Carbono y Oxígeno se fusionan. Por esta razón, las tipo I son mucho más útiles que las tipo II. Todas las supernovas de tipo I tienen una magnitud absoluta de M=-19,3 en el pico de emisión. Por lo tanto, los astrónomos miden la magnitud aparente de la supernova en el

momento de máximo brillo, y mediante la fórmula del módulo de distancia pueden determinar la distancia a la galaxia donde explotó esa supernova.

3.4.9 LEY DE HUBBLE

Cuando una fuente que emite luz se mueve respecto de un observador, la longitud de onda (color) que le vemos a la luz emitida varía dependiendo de si la fuente se acerca o se aleja del observador. Este efecto es conocido como efecto Doppler: si la fuente de luz se acerca hacia el observador, la luz se ve más azulada (longitudes de onda más cortas); mientras que si la fuente se aleja del observador, la luz se ve enrojecida (longitudes de onda más largas). Este efecto también ocurre con el sonido y podemos percibirlo muchas veces en nuestra vida diaria, por ejemplo: cuando una ambulancia se acerca hacia nosotros, la longitud de onda del sonido se acorta y escuchamos agudo el sonido de la sirena; mientras que a medida que se aleja, la longitud de onda se alarga y suena más grave.



Créditos: Georg Wiora (wikipedia)

El efecto Doppler en astronomía se conoce como corrimiento al rojo -- o redshift – y corrimiento al azul –o blueshift. Se usa para medir la velocidad con la que los objetos se alejan o acercan de nosotros.

Dado que los espectros de las estrellas/galaxias/etc presentan líneas que son la evidencia de los elementos químicos que las componen, es fácil comprobar con esas líneas de los elementos conocidos si el objeto se está acercando o alejando del observador. En la imagen de la izquierda, puede verse el espectro del Sol, comparado con el espectro de una galaxia distante. Puede verse la presencia de las mismas líneas de los elementos químicos, pero la posición de las mismas está levemente desplazada hacia arriba, es decir, hacia el rojo. Eso quiere decir que esa galaxia se está alejando de nosotros.

La medición del corrimiento de las líneas en general se denomina simplemente redshift y se representa con la letra “z”. Para medirlo simplemente hace falta comparar la posición de las líneas observadas con respecto a un espectro patrón:

$$z = (\lambda_{observada} - \lambda_{patrón}) / \lambda_{patrón}$$

Un número z positivo significa que el espectro observado está corrido hacia el rojo, es decir que se aleja; un número negativo significa que está desplazado hacia el azul, es decir, que se acerca.

Además, ese desplazamiento en las líneas puede ser relacionado con la velocidad con la que se mueve el objeto respecto del observador mediante la fórmula que involucra a la velocidad de la luz (c = 299.792,458 km/s):

$$v = c \cdot z$$

En la década de 1920, Edwin Hubble estudiando el desplazamiento de las líneas de los espectros de las galaxias a las que les conocía la distancia (medida con alguno de los métodos detallados anteriormente), hizo un descubrimiento que hoy en día es conocido como ley de Hubble. Él encontró que es posible relacionar la distancia a la que están los objetos con la velocidad con la

que se mueven respecto de nosotros, descubriendo que cuanto más lejanos se encuentran los objetos, más rápido se alejan de nosotros. Así estableció que la distancia es:

$$d = v / H_0$$

donde H_0 es la constante de Hubble, que vale 73 km/s/Mpc; y **v** es la velocidad de recesión. Esta fórmula permite calcular la distancia a la que se encuentran los objetos lejanos midiendo la velocidad con la que se alejan de nosotros, aunque como dijimos anteriormente, en realidad, esa velocidad no puede medirse directamente, sino que lo que se hace es utilizar el espectro de radiación del objeto y determinar el corrimiento al rojo (redshift) $z = \Delta\lambda/\lambda$, y de allí se calcula la velocidad ,para finalmente obtener la distancia a través de la ley de Hubble.

El descubrimiento de la Ley de Hubble fue además la primera evidencia de la expansión del universo que llevó a formular la teoría del Big Bang como origen del Universo. La Ley de Hubble ha sido reformulada a medida que la teoría de la relatividad y la teoría del Big Bang encontraron nuevas evidencias observacionales; por ejemplo el valor de H_0 en la ley de Hubble no es un valor constante, sino que varía dependiendo de la distancia y del momento en el que la luz fue emitida y empezó su viaje hacia nosotros. Además, dado que el espacio es curvo (de acuerdo con la teoría de la relatividad) la dependencia lineal entre **v** y **d** ha sido modificada para tener en cuenta la geometría del espacio. En este apunte no detallaremos la formulación matemática exacta de la ley de Hubble con la dependencia espacial y temporal, pero enfatizaremos que esta ley es útil para medir distancias con sólo medir el desplazamiento que sufren las líneas de los espectros.

Referencias:

http://cas.sdss.org/dr7/sp/astro/galaxies/galaxies.asp#classification
https://es.wikipedia.org/wiki/Galaxia
http://ciencia.nasa.gov/ciencias-especiales/31may_andromeda/
http://www.youtube.com/watch?v=FNNBh2P5YZM
http://astronomia.net/cosmologia/distance.html
http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_distance_ladder
http://cse.ssl.berkeley.edu/bmendez/ay10/2002/notes/lec17.html
https://www.e-education.psu.edu/astro801/content/l9_p8.html
http://www.iop.org/resources/topic/archive/cosmic/
http://www.talkorigins.org/faqs/astronomy/distance.html
http://astro.unl.edu/naap/distance/distance.html
http://www.daviddarling.info/encyclopedia/C/cosmic_distance_ladder.html

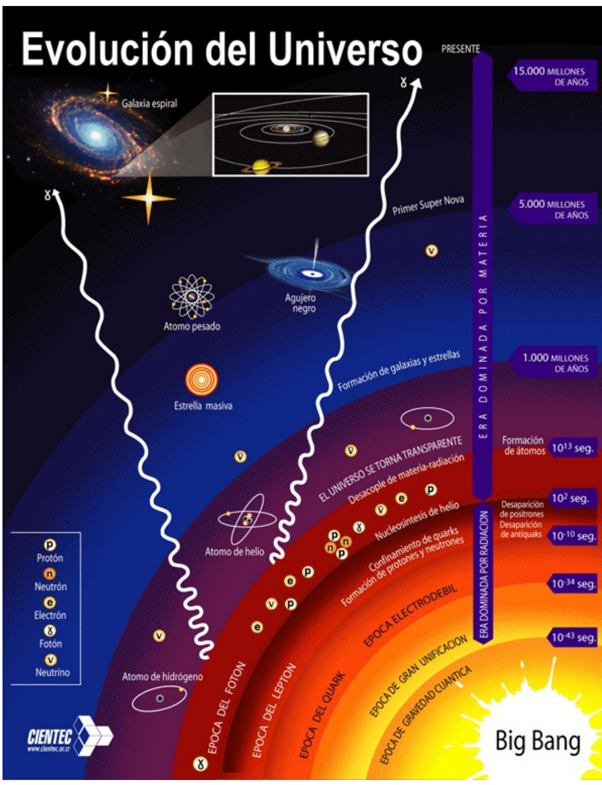
Actividadades:

http://cas.sdss.org/dr5/sp/proj/advanced/hubble/
http://www.galaxyzoo.org/?lang=es

CAPÍTULO 4: Cosmología

“Por cada mil millones de partículas de anti-materia que existieron
había mil millones y una partícula de materia.
Y cuando la aniquilación mutua terminó
sólo un mil millonésimo sobrevivió, y ése es nuestro universo actual”
Albert Einstein (1879 – 1955)

4.1 ORIGEN DEL UNIVERSO



Créditos: Fundación Cientec - ISSN: 1659-0740

La teoría más aceptada de formación y evolución del Universo es la del ‘Big Bang’ o ‘la gran explosión'. Esta teoría ha sido corroborada por muchas evidencias observacionales a lo largo de los años.

De acuerdo con esta teoría, en sus primeros momentos de existencia, el universo pasó por una explosión enorme seguido por una etapa llamada inflación en donde el universo sufrió una expansión casi instantánea, creciendo más de billones de billones de veces en menos de una billonésima de billonésima de segundo. Pequeñas fluctuaciones/aglomeraciones se generaron durante esa expansión y continuaron creciendo a un ritmo más moderado desde entonces para formar las galaxias que conocemos. Los fotones de las galaxias distantes que nos llegan hoy han viajado a través del espacio a la velocidad de la luz durante miles de millones de años, pero ninguno de ellos por más de 13.800 millones de años - la mejor estimación de la edad del Universo. Esto nos dice que hay un límite en el universo que podemos observar. Si tenemos en cuenta que el universo se ha estado expandiendo mientras que los fotones estaban en camino, la distancia hasta el objeto más lejano visible (lo llamamos el horizonte de partículas) es ahora aproximadamente 46 mil millones de años luz.

Pero eso no quiere decir que no haya nada más allá del límite del Universo observable. Cuando estudiamos la expansión remontándonos a la época antes de la inflación, todo lo que podemos ver hoy en día habría encajado dentro de una esfera de 10^{-27} (27 ceros delante del 1) metros de ancho, más pequeña que cualquier partícula elemental conocida. Sin embargo, es concebible que hubiera algo afuera de esa burbuja pequeña y que la inflación expandió ese espacio también. Todo ese espacio habría terminado fuera del horizonte de partículas de nuestro universo observable. No podemos ver los fotones de esos objetos porque no han tenido tiempo para llegar hasta nosotros todavía. En función de lo rápido que el Universo se expanda, estas áreas puede, con el tiempo, que se encuentren en el interior del horizonte y lleguen a ser observables (no

pasará si el Universo estuviera dominado por la constante cosmológica - la energía oscura - lo cual se espera que suceda en un futuro lejano).

La primer evidencia a favor de la teoría del Big Bang vino con la observación del corrimiento al rojo en los espectros de las galaxias. No sólo las galaxias se mueven a través del espacio, sino que el espacio entre ellas se expande, es decir que todos los objetos se alejan. A través de los espectros se puede medir la velocidad con la que se alejan las galaxias. De la observación de un Universo en expansión se deduce que, dando marcha atrás al tiempo, hubo un principio en el que se produjo la explosión, dando origen al espacio y al tiempo tal como lo conocemos. Pero la evidencia más fuerte a favor de la teoría del Big Bang es la detección de la llamada “radiación cósmica de fondo de microondas”: es posible detectar hoy en día los primeros momentos en los que la luz empezó a viajar por el universo después de la gran explosión. Esta radiación, que ya había sido predicha dentro de la teoría del Big Bang, fue detectada por primera vez en 1964 por Penzias & Williams utilizando un radiotelescopio, lo que les valió un premio Nobel en 1978. La radiación de fondo proviene desde todas las direcciones y hoy es muy fría, sólo 2,7ºK, ya que lleva viajando unos 13800 millones de años, partió cuando el universo sólo tenía unos 380 mil años y estaba a unos 3000ºK.

Matemáticamente, esta teoría de Universo puede describirse a través de las ecuaciones de la teoría de la relatividad de Einstein. Una de las soluciones de estas ecuaciones fue dada por Friedman, en la cual se asume que el Universo en gran escala es homogéneo e isótropo.

4.2 PRINCIPIO COSMOLÓGICO: El Universo, ¿es igual en todas partes?

Si hubiéramos vivido en la Edad Media, hubiéramos estado convencidos de que la Tierra era el centro del Universo, de que todos los cuerpos celestes estaban puestos en esferas de cristal que rotaban lentamente a su alrededor, y de que los astros y constelaciones tenían alguna influencia sobre la vida en la Tierra. Obviamente, en ese pensamiento, la Tierra estaba claramente en una posición privilegiada, el Universo era relativamente pequeño y tenía un centro, por lo que la respuesta a la pregunta "¿es el Universo el mismo en todas partes?" sería "no".

Nicolás Copérnico, astrónomo polaco del siglo 16, fue el primero en ser tenido en cuenta al proponer un modelo del Sistema Solar con el Sol en el centro, y la Tierra sólo un planeta que gira alrededor de él (Aristarco de Samos ya lo había propuesto en el siglo 2 a.C, pero había sido ignorado). Este nuevo punto de vista despojó a la Tierra de su posición privilegiada y tuvo profundas implicaciones para nuestra comprensión del Universo. Hoy llamamos a este concepto el "principio copernicano".

El Sol no se quedó el centro del Universo por mucho tiempo. Otro filósofo del siglo 16, Giordano Bruno, fue el primero en proponer que el Sol sólo se trataba de otra estrella, como las miles visibles en el cielo nocturno. Él fue quemado vivo por hereje (los antiguos filósofos griegos también habían propuesto ese punto de vista, pero no tuvieron éxito).

Aunque la Vía Láctea se observó desde los tiempos antiguos, la comprensión de la misma como una de muchas galaxias en el Universo no se desarrolló hasta el siglo 18. Thomas Wright, en 1750, fue el primero en especular que la Vía Láctea era un disco plano de estrellas, y que las otras nebulosas visibles en el cielo podían ser otros discos ubicados a otras distancias. Este punto

de vista no se demostró de manera concluyente hasta 1920, cuando las distancias a la “nebulosa” de Andrómeda y otras galaxias se midieron.

Con la Tierra degradada al papel de un planeta que gira alrededor de una estrella entre los miles de millones de estrellas en una galaxia entre miles de millones de galaxias, los filósofos y los científicos empezaron a hacerse otra pregunta: ¿Existen lugares "especiales" en el universo, o es todo el mismo sin importar dónde te encuentres y en qué dirección mires? Los esfuerzos para responder a esta pregunta dieron lugar al principio cosmológico.

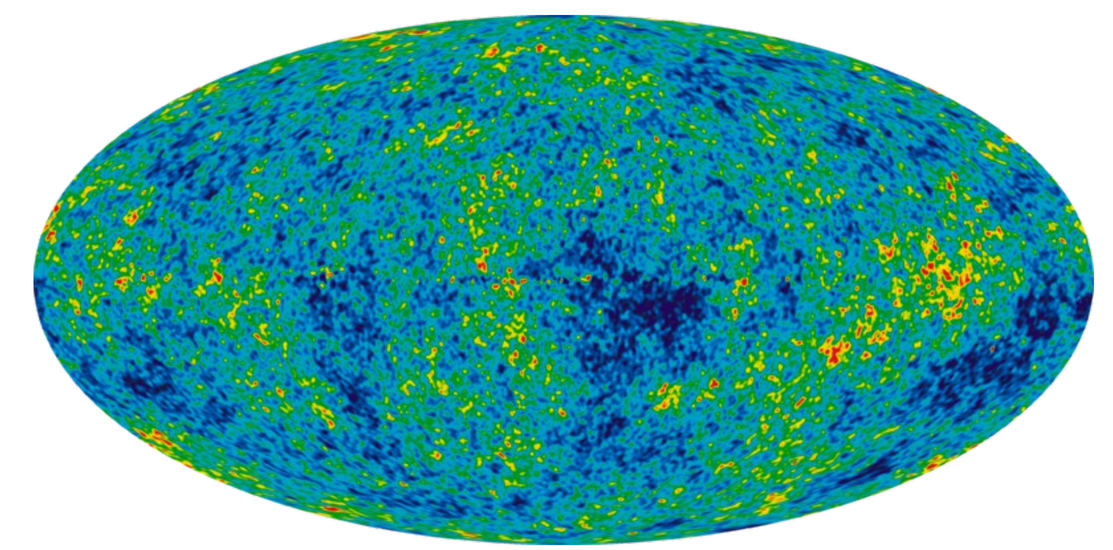
El principio cosmológico es una hipótesis de trabajo, que afirma que el Universo tiene las mismas propiedades físicas para todos los observadores, independientemente de su ubicación (es homogéneo) e independientemente de la dirección en la que está mirando (es isotrópico). No hay lugares o direcciones especiales en el Universo. En particular, no tiene "centro".

El principio cosmológico no se aplica a las diferentes estructuras del Universo. Es evidente que el centro del Sol es muy diferente de la superficie de la Luna o cualquier porción del espacio interestelar vacío. Lo que significa es que las leyes de la física son las mismas en todas partes. Los electrones tienen la misma carga, las fuerzas fundamentales tienen la misma intensidad, las fórmulas que usamos en la Tierra son igualmente válidas en una galaxia lejana, etc. El principio cosmológico hace que sea posible que podamos investigar y entender los confines del Universo al aplicar lo que conocemos acerca de nuestro vecindario inmediato.

4.3 FORMACIÓN DE ESTRUCTURAS Y COMPOSICIÓN DEL UNIVERSO:

Todas las estructuras que conocemos en el Universo se forman debido a la fuerza de la gravedad: las partículas son atraídas hacia regiones con mayor cantidad de materia, y por lo tanto mayor atracción gravitatoria.

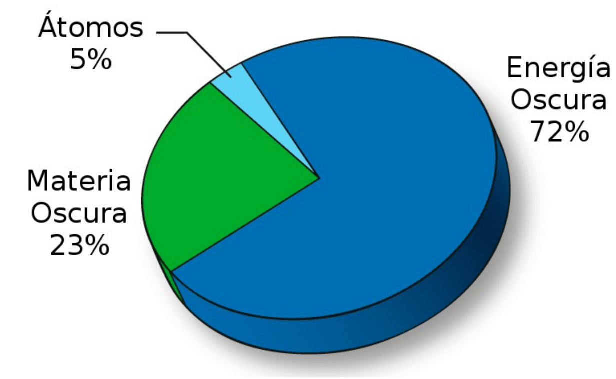
Pero si el Universo originalmente era homogéneo, ¿cómo pudieron haberse formado las estructuras? Esta pregunta fue respondida en la década de los 90 cuando se empezaron a medir las fluctuaciones en la temperatura de la radiación del fondo de microondas. Esta radiación es la primera luz que viajó libremente por el Universo empezando su viaje cuando la materia y la radiación se separaron. Debido a que originalmente en el universo, la materia y la radiación estaban acopladas, al momento de la separación las fluctuaciones en temperatura eran un reflejo de las fluctuaciones en densidad. La temperatura de esa radiación es realmente baja (unos 2,7ºK), proviene de todas las direcciones del cielo, y en primera aproximación podemos decir que es homogénea. Sin embargo, cuando se analiza con instrumentos de altísima precisión se puede ver que existen fluctuaciones en la temperatura del fondo, con zonas con temperaturas un poco más altas que otras. En esas regiones con mayor temperatura (=mayor densidad) es en donde, debido a la atracción gravitatoria, se empiezan a formar las estructuras que hoy conocemos.



Radiación cósmica del fondo de microondas - Créditos: NASA/WMAP 9

En la imagen de arriba se muestra el mapa de temperaturas de la radiación cósmica de fondo obtenida por el satélite WMAP. Las zonas rojas son regiones más calientes, y las azules las más frías. La diferencia en temperaturas entre esas dos regiones es de sólo 0.0002ºK, pero esa pequeña diferencia es suficiente como para dar lugar a la formación de todo el Universo conocido.

Las primeras estructuras en el Universo eran pequeñas. Las estructuras más grandes se fueron formando después a partir de la fusión de esos objetos primitivos pequeños. Se conoce como "aglomeración jerárquica" al proceso por el cual las estructuras más grandes se forman a partir de la continua fusión de las estructuras más pequeñas. Las estructuras que observamos hoy en el universo (galaxias, grupos de galaxias, filamentos, vacíos) se han formado de esta manera de acuerdo con la cosmología de materia oscura fría.



Datos de WMAP 9

Todo lo que observamos en el Universo es llamado "materia bariónica". Lo que vemos de las galaxias, las estrellas, los planetas, los átomos, todo lo que conocemos en nuestra vida diaria, forman parte del material bariónico. Este material representa menos del 5% del contenido material total del universo. Un 23% del total está formado por lo que se conoce como "materia oscura". Esta materia no emite luz, pero es detectada de manera indirecta a partir de los efectos gravitacionales que ejerce sobre la materia visible. Las primeras evidencias de la existencia de esta materia salieron de los estudios de las curvas de rotación de las galaxias espirales (hace falta más materia de la que se ve para mantener la velocidad de rotación que se observa en las estrellas de las regiones exteriores de ese tipo de galaxias); otra evidencia irrefutable son las conocidas como lentes gravitacionales, principalmente alrededor de cúmulos de galaxias (ver imagen del cúmulo Abel 2744 en el capítulo 3 – sección 3: las imágenes azuladas, un poco distorsionadas, son galaxias que se ubican justo detrás del cúmulo, son visibles desde nuestra posición sólo porque la cantidad de materia contenida en el cúmulo hace que el espacio se curve, por lo que la luz que viene desde esas galaxias de fondo en lugar de seguir una línea recta sigue la forma del espacio curvo rodeando al cúmulo- como una comba. La cantidad de materia visible en ese cúmulo no sería suficiente para

producir ese efecto en el espacio, por lo que de allí se infiere la presencia de materia oscura). De qué está compuesta la materia oscura es todavía un tema de investigación actual. Los modelos más aceptados predicen que está formada por partículas muy masivas, frías (es decir que se mueven a velocidades muy por debajo de la velocidad de la luz). Uno de los principales candidatos son los conocidos como WIMPs (weakly interacting massive particles: partículas masivas que interactúan débilmente). Los grandes aceleradores de partículas intentan producir este tipo de partículas y detectarlas con instrumentos muy sensibles.

El restante 72% del contenido material del universo está formado por la "energía oscura". Es ésta la responsable de la expansión acelerada del Universo, se la puede pensar de alguna manera como una "anti-gravedad". El descubrimiento de que el universo no sólo se expande sino que lo hace de forma acelerada (y que por lo tanto es necesaria la existencia de la energía oscura para que ello suceda) fue realizado entre 1994 y 1998 por 3 astrónomos, Perlmutter-Schmidt-Riess, lo que les valió el premio nobel de Física en 2011. Al igual que la materia oscura, no puede ser detectada directamente sino de manera indirecta, por ejemplo a través del estudio de supernovas.

Referencias:

http://map.gsfc.nasa.gov/universe/bb_cosmo_fluct.html
http://map.gsfc.nasa.gov/news/
http://astronomy.swin.edu.au/cosmos/
http://astronomy.swin.edu.au/cosmos/C/Cosmic+Microwave+Background
Tamaño y centro del universo: www.youtube.com/watch?v=5NU2t5zlxQQ

Actividades:

http://sac.csic.es/astrosecundaria/libro/talleres/T8%20Expansion%20del%20Universo%20final%20bis.pdf

CAPÍTULO 5: Mirando al cielo

" El conocimiento científico sólo suma a la emoción,
al misterio, al asombro y a la belleza de una flor"
Richard Feynman (1918 – 1988)

Luego de haber realizado este (breve) recorrido por los diferentes objetos que pueblan el Universo en el que vivimos, parece aún más tentador salir a observar las maravillas del cielo. Si bien la observación contemplativa no necesita de ninguna ayuda, cuando queremos salir a mirar objetos particulares, o nos preguntamos qué clase de objeto es el que estamos mirando, es importante saber reconocer ciertas particularidades del cielo bajo el cual nos encontramos. Esperamos que este capítulo les sea de ayuda para iniciarse o profundizar en la observación del cielo nocturno.

5.1 MOVIMIENTO APARENTE DEL CIELO

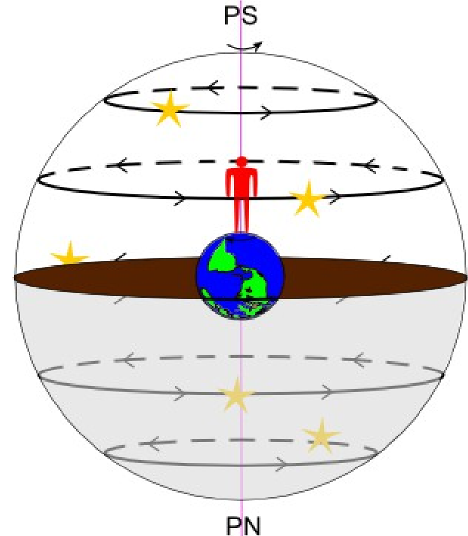
Nadie duda cuando preguntamos cuál es el movimiento que realiza el Sol en el cielo durante un día, pero si trasladamos la misma pregunta para cualquier otra estrella, la certeza deja de ser tan fuerte.

El día y la noche son sólo una consecuencia de la rotación terrestre: a medida que la tierra gira sobre su propio eje, una cara apunta hacia el Sol (día) mientras que la otra queda alejada del Sol (noche). Esa rotación la Tierra la realiza en 24hs, girando de Oeste a Este. El movimiento aparente que le vemos al Sol es como si realizara una vuelta alrededor de la Tierra en 24hs desde el Este hacia el Oeste.

Y lo mismo es verdadero para cualquier objeto fuera de la Tierra. Vemos el reflejo de la rotación terrestre en el movimiento aparente de todos los objetos del cielo girando alrededor del eje de rotación terrestre.

Analicemos cómo se ve el movimiento aparente del cielo desde distintos lugares del mundo.

En los siguientes gráficos representaremos el cielo sobre un observador, las estrellas se ubican sobre una esfera imaginaria, sobre la que están fijas y es la esfera la que girará, aparentemente (no es difícil entender por qué las primeras ideas sobre el cielo fueron éstas, ya que es lo que vemos!!!). Cuando la tierra gira sobre su eje, esa esfera imaginaria parece girar alrededor de la Tierra en sentido contrario. Las flechas en los gráficos indican la dirección de rotación del movimiento aparente. Las líneas negras son el camino que sigue una estrella en el cielo debido a la rotación terrestre: realizan círculos completos alrededor del eje de rotación de la Tierra en 24 horas. El punto imaginario en el que el eje de rotación terrestre corta la esfera imaginaria en la que reposan las estrellas se llama *Polo Celeste (Sur y Norte)*.



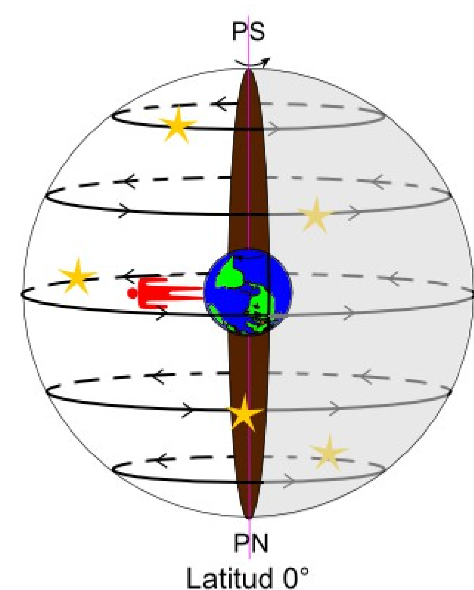
Latitud 90° Sur
(Polo Sur)

Empecemos con un observador parado en la Tierra en el polo Sur, justo sobre el eje de rotación terrestre. En marrón está marcado el horizonte del observador (perpendicular al hilo de una plomada). Todo lo que está por debajo del horizonte del observador no puede ser observado. Este observador tiene el polo sur celeste justo sobre su cabeza, por lo que verá que cada estrella en el cielo realiza un círculo sobre su cabeza: las estrellas que puede ver no tienen salida y puesta, están todo el tiempo realizando círculos paralelos al horizonte. Todas las estrellas que están por debajo de su horizonte, nunca pueden ser vistas por este observador.
En el caso del Sol, debido a que la tierra se traslada alrededor de éste, en lugar de realizar un solo círculo, el Sol realiza una espiral, habiendo épocas en que pasa mucho tiempo sobre el horizonte (6 meses de día) y otras en las que está por debajo del horizonte del observador (6 meses de noche).

PS

PN
Latitud 31° Sur
(Córdoba)

Hagamos viajar a nuestro observador hasta una posición en la Tierra como Córdoba. Las estrellas seguirán realizando círculos alrededor del Polo Sur Celeste, pero en este caso lo que habrá cambiado es el horizonte del observador (siempre perpendicular al hilo de la plomada). Ahora el observador podrá ver que las estrellas siguen describiendo círculos, pero ya no sobre su cabeza, sino inclinados. Hay estrellas que aparecen sobre su horizonte y luego vuelven a ocultarse de su vista. El tiempo que las estrellas están sobre su horizonte depende de la posición de la estrella, hay algunas que están muy poquito tiempo sobre el horizonte (ver el tamaño de la trayectoria negra que es visible para el observador) y otras que están por más tiempo, inclusive hay algunas estrellas que nunca se ocultan (las que están más próximas al Polo Sur Celeste) y otras que siempre están por debajo del horizonte del observador (las que están más próximas al Polo Norte Celeste).



Latitud 0°
(Ecuador Terrestre)

Finalmente, traslademos al observador al Ecuador terrestre. Este observador tiene una visión privilegiada: puede ver tanto las estrellas que están próximas al Polo Sur Celeste, como las que están próximas al Polo Norte Celeste, es decir, puede ver todo el cielo. Todas las estrellas aparecen y se ocultan en el horizonte, y todas están la misma cantidad de tiempo por encima y por debajo del horizonte.

5.1.1 BUSCANDO EL POLO SUR CELESTE

Un punto de referencia importante para observar el cielo desde el hemisferio Sur es el Polo Sur Celeste, ya que todos los objetos estarán realizando círculos alrededor de él a lo largo del día.

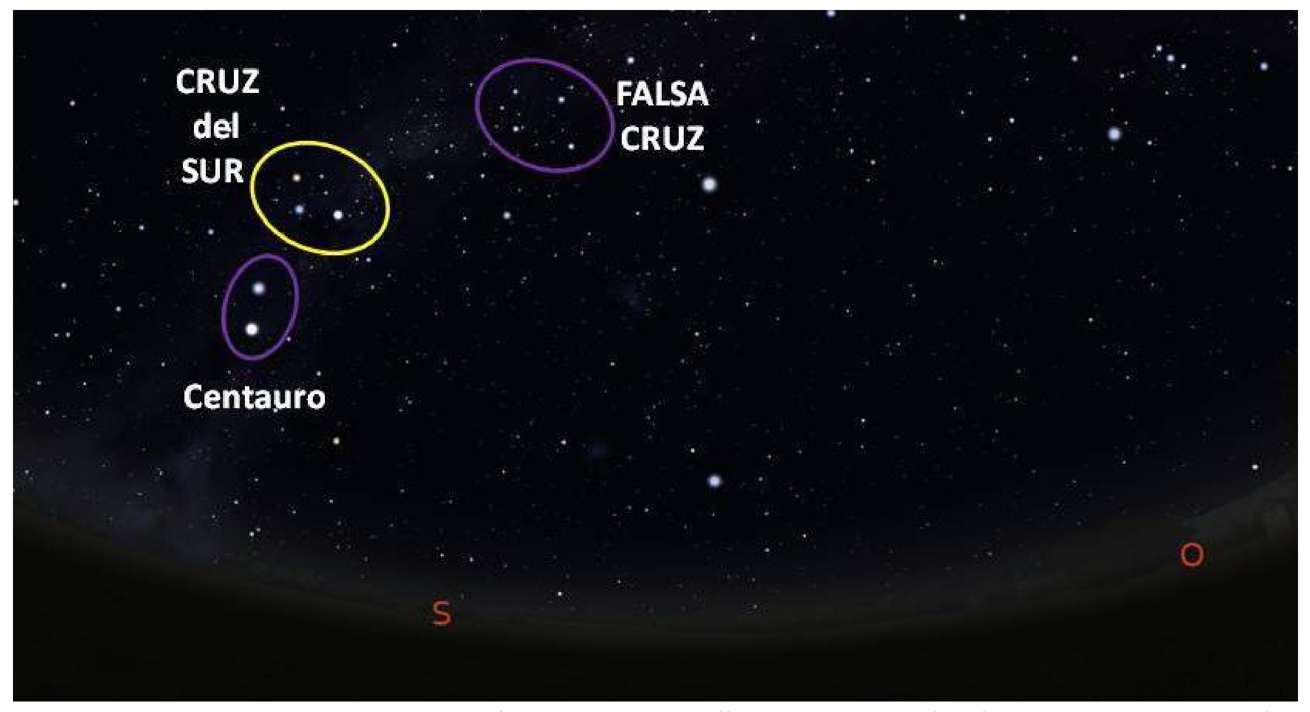
Hay varios métodos para determinar la posición del Polo Sur Celeste desde el lugar de observación de cada persona en particular. Las formas más simples son utilizando como referencia la más pequeña de las 88 constelaciones oficiales, pero también la más famosa del hemisferio Sur: la Cruz del Sur. Mostraremos a continuación una de esas formas de determinar el Polo Celeste.

- Primero necesitaremos ubicar la Cruz del Sur en nuestro cielo. Mirando hacia el punto cardinal Sur, podremos encontrar en el cielo al menos 4 de las estrellas que conforman esta constelación en forma de barrilete o cruz. Dado que también esta constelación estará realizando un círculo alrededor del Polo Sur Celeste (que todavía no sabemos ubicar), puede que la veamos en distintas posiciones dependiendo de la hora de observación. En las siguientes imágenes mostramos cómo se ve esta constelación a lo largo de una noche desde un lugar como Córdoba:



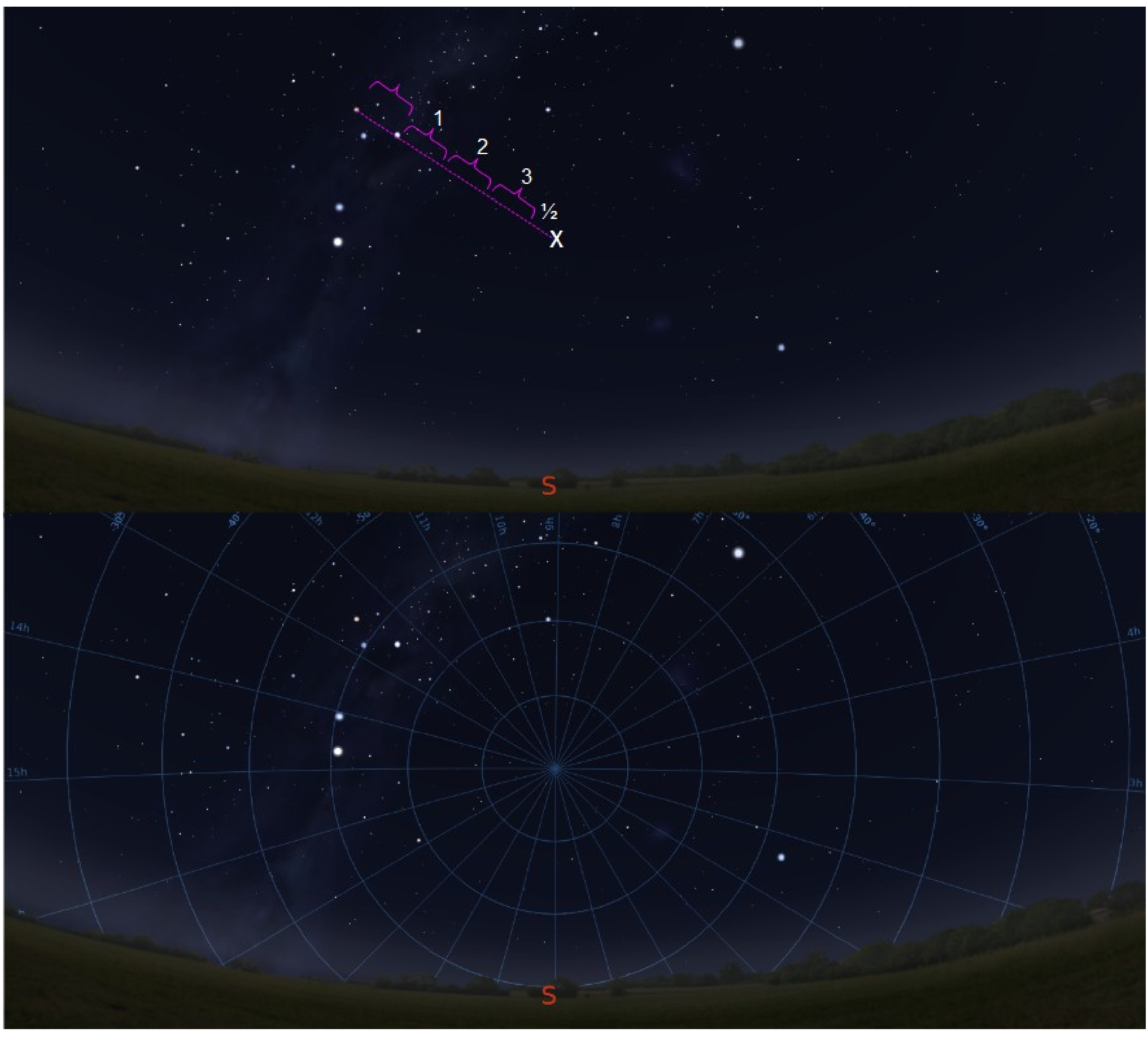
Imágenes generadas con el simulador Stellarium para distintas horas durante una misma noche

Dos de las estrellas más brillantes del cielo nocturno, Alfa y Beta del Centauro, son los punteros de la Cruz del Sur: siempre están señalando hacia ella. Hay un asterismo (conjunto de estrellas que tienen alguna forma pero no están designadas como una constelación) que luce similar a la cruz del Sur, está en la misma región del cielo, pero es más grande, y no tiene los dos punteros que la señalan. Ese asterismo es llamado "Falsa Cruz", ya que muchas veces es confundido con la constelación de la cruz:



Ver nuestra página web de Astrónomos Ciudadanos: https://sites.google.com/site/astronomosciudadanos/

- Una vez que hemos ubicado a la cruz del Sur, podemos empezar a buscar el Polo Sur Celeste. Trazaremos una línea imaginaria a lo largo del palo mayor de la cruz, extendiéndola hacia la punta más alejada. Si repetimos sobre esa línea imaginaria 3 veces y media el tamaño del palo mayor, encontraremos el polo Sur Celeste:



Polo Sur Celeste - Imágenes generadas con el simulador Stellarium

De esta manera, ubicamos el punto alrededor del cual todos los objetos del cielo parecen realizar círculos a lo largo de un día: es la prolongación del eje de rotación terrestre. La proyección sobre el horizonte del Polo Sur Celeste es lo que determina el punto cardinal Sur.

Aquí les dejamos una fotografía de larga exposición de la región del cielo en donde se encuentra el Polo Celeste (arriba a la izquierda). En ella puede verse el trazo del movimiento de las estrellas a lo largo de 2 horas.



Créditos: Aldo Mottino - Estación Astrofísica de Bosque Alegre, Córdoba, Argentina

5.2 RECONOCIMIENTO DEL CIELO

Casi todos los objetos que vemos en el cielo a simple vista son estrellas y nebulosas de nuestra propia galaxia. Las contadas excepciones son: los planetas Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno; las 2 galaxias enanas llamadas Nubes de Magallanes y la galaxia Andrómeda (en cielos muy oscuros). Sólo con telescopios es posible observar otras galaxias (como pequeñas nebulosas blanquecinas).

Como veremos más adelante, nuestro ojo no nos permite ver objetos demasiado débiles. De todos los objetos del cielo, sólo podemos ver aquellos cuyas brillos sean superiores a un dado límite. En Astronomía, el brillo de los objetos se mide en magnitudes.

5.2.1 CONTANDO ESTRELLAS

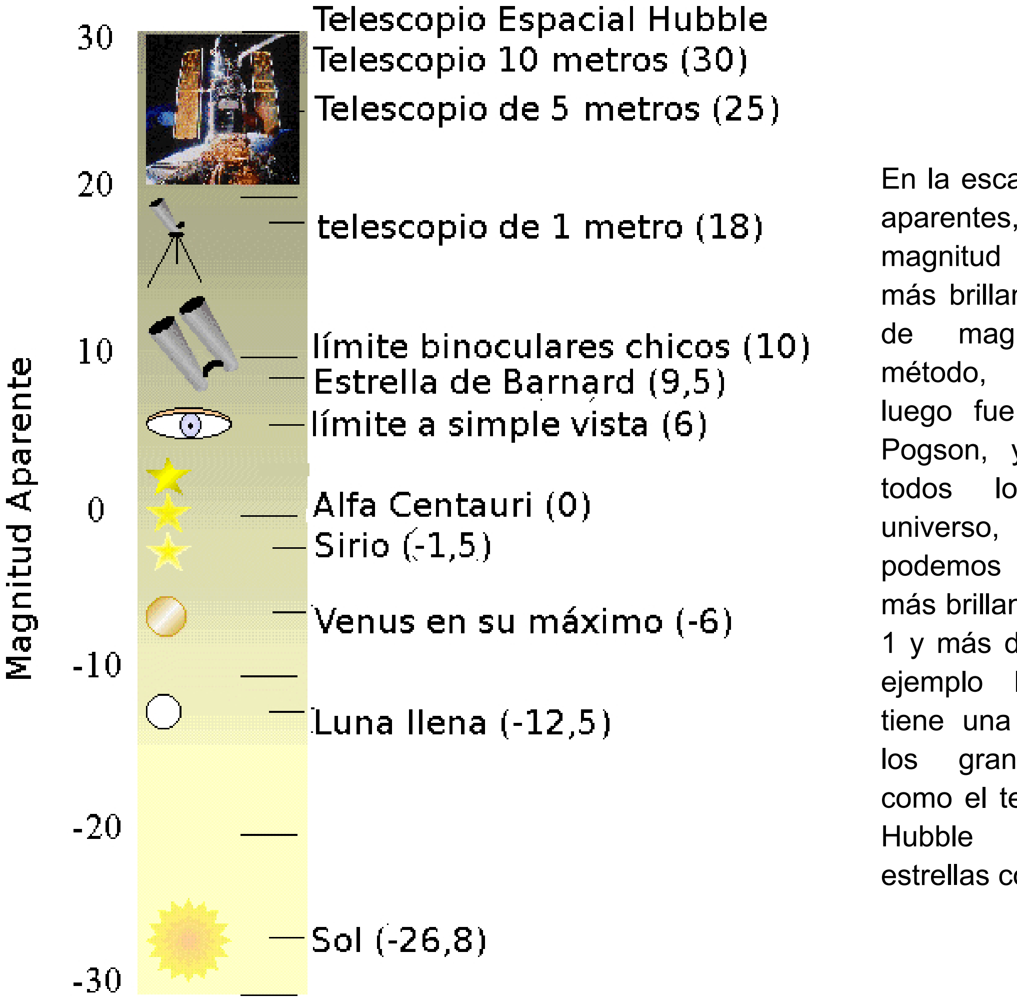
¿Será posible saber cuántos objetos vemos? El número de estrellas que podemos ver depende principalmente de 2 factores:

1. la magnitud aparente de los objetos (brillo que le vemos desde la Tierra)
2. la calidad del cielo que observamos

– La magnitud aparente: Muchas veces escuchamos la pregunta “¿qué tan lejos se puede ver con tal instrumento?”, en realidad lo que podemos ver no va a depender exclusivamente de la distancia a la que se encuentra un objeto, sino también del brillo intrínseco del mismo. La magnitud aparente es la cantidad de brillo que recibe nuestro ojo, y se define en función del brillo intrínseco del objeto y de la distancia a la que se encuentra. Así, podremos observar objetos que

sean muy débiles intrínsecamente pero que estén muy próximos a nosotros (como los planetas), pero otros objetos intrínsecamente brillantes (como estrellas gigantes) no podemos verlas porque se encuentran muy alejadas de nosotros.

La escala que se utiliza para medir las magnitudes aparentes tuvo su origen en la antigua Grecia, en donde se dividieron las estrellas visibles a simple vista en 6 magnitudes: a la estrella más brillante visible en Grecia se les asignó una magnitud m=1, mientras que a la más débil se le asignó una magnitud m=6, este último es aproximadamente el límite que puede ver el ojo humano (sin ayuda de telescopios).



En la escala de magnitudes aparentes, un objeto de magnitud 1 es 100 veces más brillante que un objeto de magnitud 6. Este método, algo primitivo, luego fue formalizado por Pogson, y se extendió a todos los objetos del universo, por lo que podemos encontrar objetos más brillantes que magnitud 1 y más débiles que 6 (por ejemplo la estrella Sirio tiene una magnitud -1.5 y los grandes telescopios como el telescopio espacial Hubble han observado estrellas con magnitud +30)

Créditos: Universidad de Cornell -
http://www.astro.cornell.edu/academics/courses/astro201/mag_apparent.htm

La ley de Pogson establece la relación entre la diferencia de magnitudes y la diferencia entre brillos de los objetos “i” y “j”:

$$m_i - m_j = -2{,}5 \log(b_i/b_j)$$

Entonces podemos, por ejemplo, averiguar cuántas veces más brillante es un objeto que tiene una magnitud 1 con respecto a un objeto que tiene magnitud 2:

$1-2= -2,5 \log(b_1/b_2)$ de donde → $b_1/b_2= 10^{0,4}$ → $b_1/b_2 = 2,511$

Es decir: una estrella con magnitud 1 es 2,511 veces más brillante que una estrella con magnitud 2. Podemos hacer el mismo ejercicio con el Sol y la estrella Sirio, que es la estrella más brillante del cielo nocturno:
$(-1,5) - (-26,8) = -2,5 \log(b_{Sirio}/b_{Sol})$ → $b_{Sirio}/b_{Sol} = 10^{-10,1} = 7,9 \times 10^{-11} = 1/13.200.000.000$

Es decir que Sirio parece 13.200.000.000 veces más débil que el Sol. Pero Sirio es en realidad mucho más brillante que el Sol, sólo que está mucho más distante por eso aparenta ser más débil.

– La contaminación lumínica: En una noche perfectamente despejada, desde un lugar completamente oscuro, el ojo humano es capaz de detectar objetos más brillantes que magnitud 6 o 6,5.

Sin embargo, en la actualidad es muy difícil encontrar lugares en los que no exista ningún tipo de contaminación lumínica. Las luces de las ciudades no nos permiten admirar completamente nuestro cielo, y la atmósfera también se lleva su parte ya que refleja la luz emitida desde las ciudades. Varios proyectos internacionales se han llevado a cabo para concientizar a la sociedad en este sentido, el más emblemático es el programa “Globe at Night”, en el que todos los años se invita al público en general a caracterizar su cielo nocturno, y “Dark Skies” que proponen soluciones simples para lograr mantener los cielos oscuros, al mismo tiempo que se genera conciencia en el ahorro de energía.

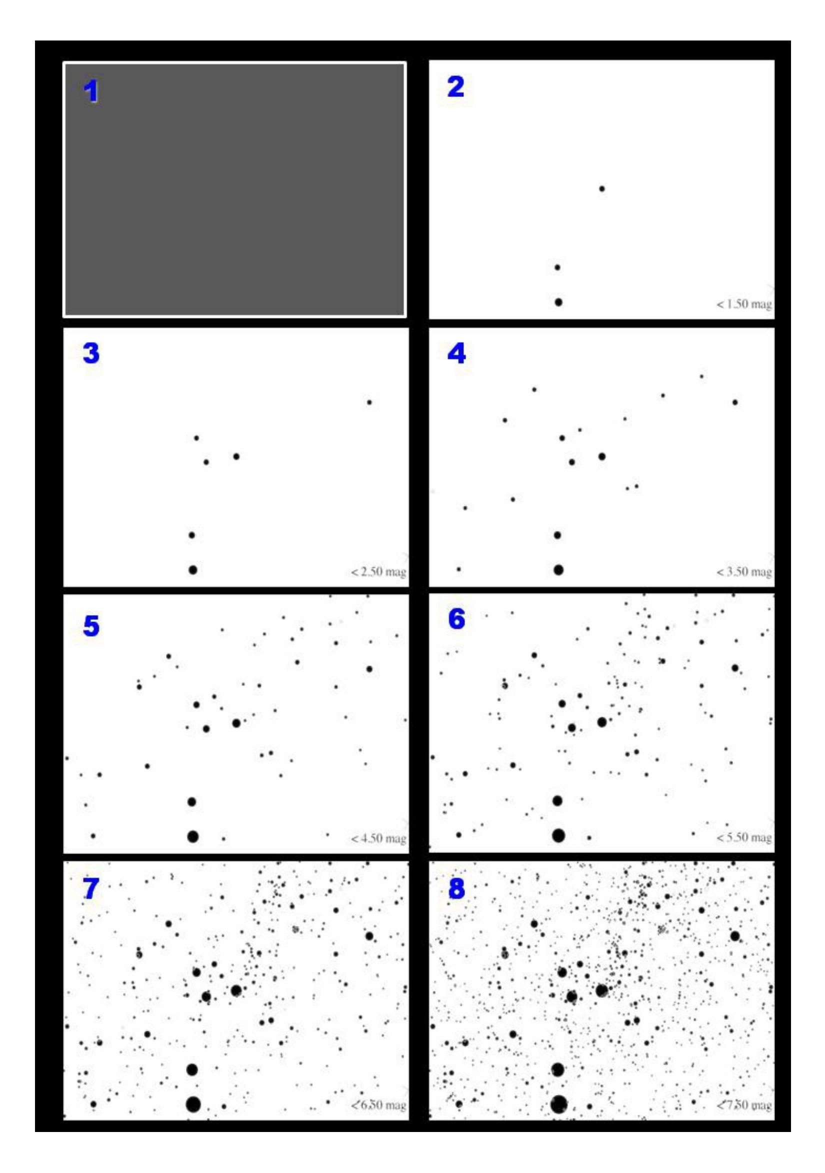
¿Cuánto vemos de nuestro cielo?

Podemos entonces ahora preguntarnos hasta qué magnitud somos capaces de observar en *nuestro* cielo. Para esto podemos tomar mapas del cielo como referencia. Estos mapas de una pequeña región alrededor de una constelación conocida nos muestran todas las estrellas existentes en esa región hasta una dada magnitud.

Más abajo incluimos un ejemplo tomando la constelación de la Cruz del Sur (descargar desde http://bit.ly/16pbPVi o
http://www.globeatnight.org/pdf/GaN2013_FamilyActivityPacket_Crux_Spanish.pdf
en verano tal vez prefieran utilizar la constelación de Orión:
http://www.globeatnight.org/resources/GaN2014_ActivityGuides_Spanish_S/GaN2014_ActivityGuide_Orion_S_Spanish.pdf o directamente en internet en http://www.globeatnight.org/es/webapp/)

Lo único que tenemos que hacer es comparar el cielo sobre nuestra cabeza con las imágenes patrón, hasta determinar cuál de ellas se parece más a lo que nosotros observamos. Es recomendable observar el cielo en noches sin luna, durante unos 30 minutos, que es el tiempo que nuestro ojo necesita para adecuarse completamente a la oscuridad. Prestar atención a cuáles estrellas podemos identificar y qué tan brillantes las vemos.

Una vez que identificamos cuál es la imagen que más se le parece, ya sabemos hasta qué magnitud somos capaces de ver (en el extremo inferior derecho de cada imagen aparece un número que nos indica que podemos ver estrellas más brillantes que ese número)



¿Cuántas estrellas vemos?

Sabiendo con los ejercicios anteriores hasta qué magnitud somos capaces de ver, podemos estimar cuántas estrellas podemos ver en todo el cielo. El número promedio de estrellas hasta una dada magnitud por grado cuadrado se calcula como:

$$\log(N_m) = -0{,}0003 \times m^3 + 0{,}0019 \times m^2 + 0{,}484 \times m - 3{,}82$$

Por ejemplo, supongamos que tenemos un cielo excelente y vemos todos los objetos hasta magnitud 6, entonces el número de estrellas por grado cuadrado nos da:
$\log(N_6)$= -0,912, por lo que N_6= 0,12 estrellas por grado cuadrado.

Si consideramos que todo el cielo tiene en total 41.253 grados cuadrados, entonces el Número total de estrellas será 0,12*41.253=5.047. Ya que no vemos todo el cielo sino, con suerte, sólo la mitad de él, podemos decir que vemos 2.524 estrellas.

Otro ejemplo, si nuestro cielo es de magnitud 3 (como pasa en la mayoría de las ciudades) la cuenta anterior nos da: log(N3)=-2,359 de donde N3=0,0044. Entonces en nuestra mitad del cielo vemos 0,0044*41.253/2=90 estrellas...

Esa es la diferencia entre observar desde el campo u observar desde la ciudad: hay miles de estrellas que no podremos ver debido a la contaminación lumínica!!!

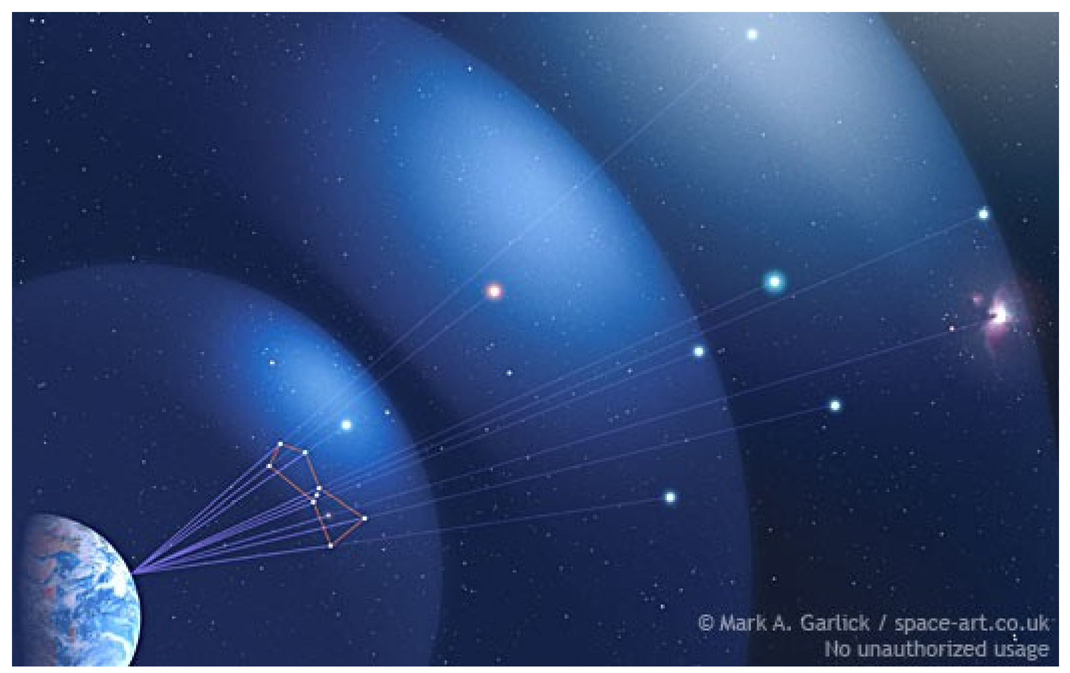
La siguiente es una tabla con el número promedio de estrellas que pueden observarse en un hemisferio de acuerdo con la magnitud límite:

Magnitud límite	Número de estrellas visibles
10 (binoculares)	167.658
9	61.042
8	21.599
7	7.458
6 (ojo humano)	2.524
5	840
4	276
3 (grandes ciudades)	90
2	29
1	10

5.2.2 CONSTELACIONES

Una constelación es una figura imaginaria que se traza en el cielo uniendo estrellas para formar imágenes que reconocemos de nuestra vida cotidiana, similar a lo que hacemos cuando buscamos formas en las nubes. Habrán notado que entre las constelaciones más populares, como las llamadas del zodíaco, no aparecen el ñandú o la llama. Por supuesto, porque las constelaciones que conocemos como el zodíaco fueron imaginadas por los griegos que no veían ñandúes, llamas ni elefantes en su vida cotidiana. Otras culturas, como la china imaginaron ratas, dragones o serpientes; los mocovíes veían ñandúes, yacarés y árboles de algarrobo. Pero no son esas las constelaciones que heredamos en nuestra cultura actual, sino las griegas, y es por eso también que en general encontraremos las figuras en el cielo “patas para arriba” y si consultamos sus historias de la mitología, encontraremos referencias a las estaciones y observación desde el Hemisferio Norte.

Las estrellas que conforman una constelación no están ligadas entre ellas, en realidad se encuentran separadas por cientos o miles de años luz, y sólo por un efecto de proyección y un efecto psicológico llamado pareidolia, nos parece que formaran figuras en el cielo. Por ejemplo, en la imagen que sigue se muestra un dibujo de la distribución de estrellas que conforman la constelación de Orión:



Orión visto en 3D - Créditos: Mark A. Garlick - http://www.space-art.co.uk/space-art/recent/distance-to-orion.html

La estrella de la constelación de Orión que es la más cercana a la Tierra, Bellatrix, está a 240 años luz de distancia, mientras que la más alejada, Meissa, está a 1300 años luz de distancia. De hecho, las estrellas más cercanas de Orión están en realidad más próximas al Sol que a los miembros más distantes de la misma constelación!!!

Sin embargo, conocer la ubicación de las constelaciones en el cielo nos puede servir como referencia para encontrar objetos interesantes para la observación o para señalar una dirección en particular. El cielo se encuentra dividido en 88 constelaciones oficiales. Algunas de ellas pueden ser observadas desde casi todo el mundo, pero otras son sólo visibles desde el hemisferio Sur (ej: Cruz del Sur) y otras sólo desde el hemisferio Norte (ej.: Osa menor)

5.2.3 DISTANCIAS Y TAMAÑOS EN EL CIELO

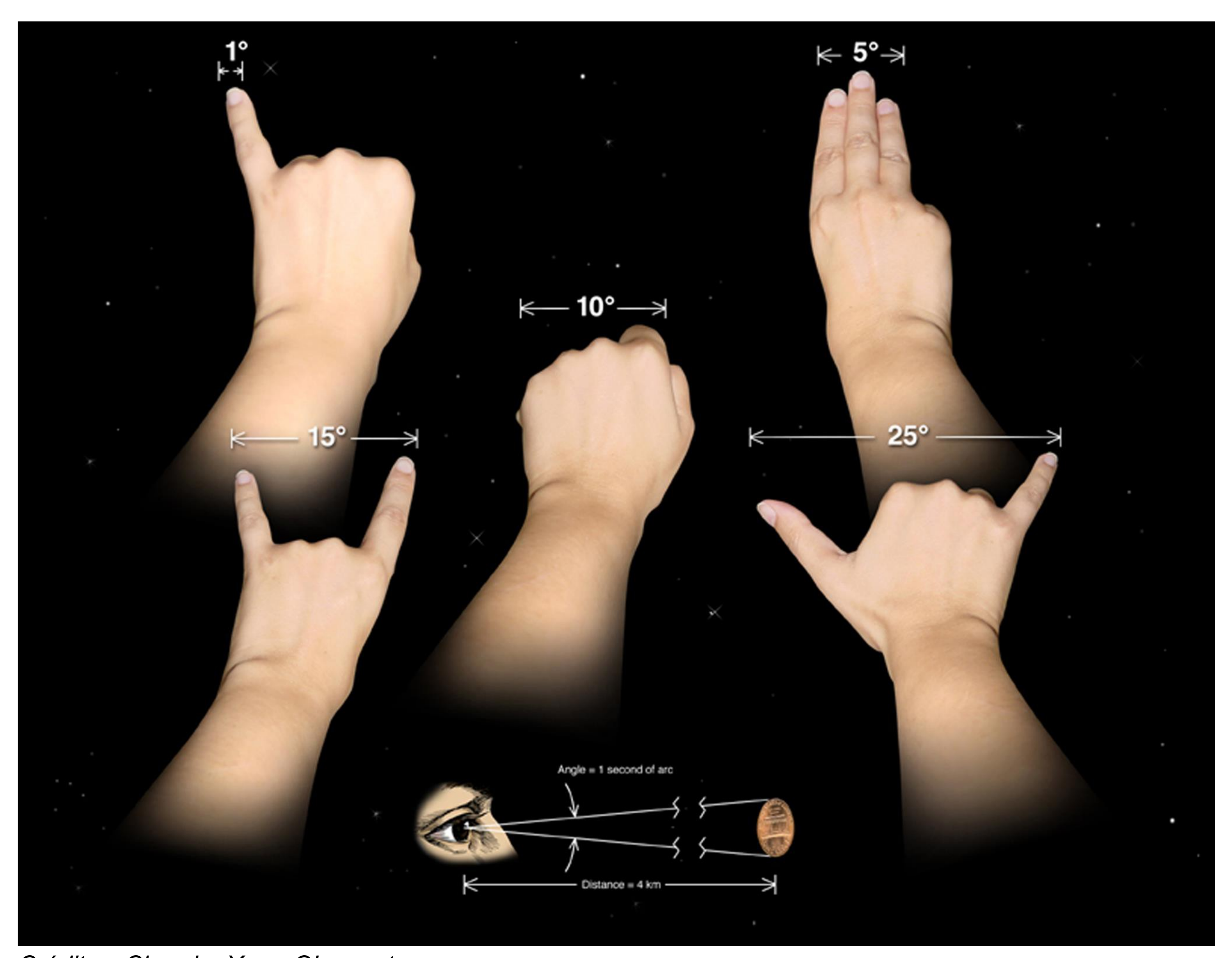
Así como puede ser de utilidad ubicar algunas constelaciones en el cielo para utilizarlas como referencia, también es interesante saber dar medidas angulares en el cielo, así por ejemplo a veces decimos que “venus y la luna estarán en conjunción separados por menos de 5°” o “la estación espacial pasará a 2° de júpiter”, aquí veremos cómo podemos calcular esa distancia angular sin necesidad de ningún instrumento sofisticado.

El tamaño aparente de los objetos y las distancias entre ellos se describen con mediciones angulares. Esto es importante porque los objetos en el cielo a menudo están a distancias muy diferentes. Por ejemplo, el Sol es 400 veces más grande que la Luna. También está 400 veces más distante, por lo que parece ser del mismo tamaño que la Luna llena, es decir, tiene el mismo tamaño angular.

El sistema de medición angular utilizado por los astrónomos se basa en la división del círculo. El círculo se divide en 360 grados. Los grados se dividen en 60 minutos de arco, y cada minuto se divide en 60 segundos de arco.

El Sol y la Luna tienen un diámetro angular de alrededor de medio grado (30 minutos). Para comparar, un segundo de arco es el tamaño aparente de una moneda vista a una distancia de 4 km.

La foto muestra cómo se puede utilizar la mano para hacer estimaciones aproximadas de tamaños angulares. Con el brazo extendido, el dedo meñique es de aproximadamente 1 grado de ancho, el puño es de unos 10 grados de diámetro, etc.



Créditos: Chandra X-ray Observatory

El diámetro angular es proporcional al diámetro real dividido por la distancia. Si cualquiera de estas dos cantidades se conoce, la tercera puede ser determinada. Por ejemplo, si un objeto se observa que tiene un diámetro aparente de 1 segundo de arco y se sabe que está a una distancia de 5000 años luz, se puede determinar que el diámetro real es 0,02 años luz. Pero esto lo dejamos para la clase de trigonometría.

5.2.4 NO TODO LO QUE BRILLA ES ESTRELLA

Ya mencionamos anteriormente que además de estrellas, podemos ver a simple vista algunas nebulosas (la más fácil de ubicar es la nebulosa de Orión, ubicada en la espada del cazador, próxima al cinturón también llamado “tres marías”), algunos planetas, cúmulos estelares (como Omega Centauri) y, con algo de suerte, hasta 3 galaxias. Y por supuesto, un satélite natural: nuestra Luna.

Pero muchas veces observamos otros objetos que no se encuadran en ninguno de estos.

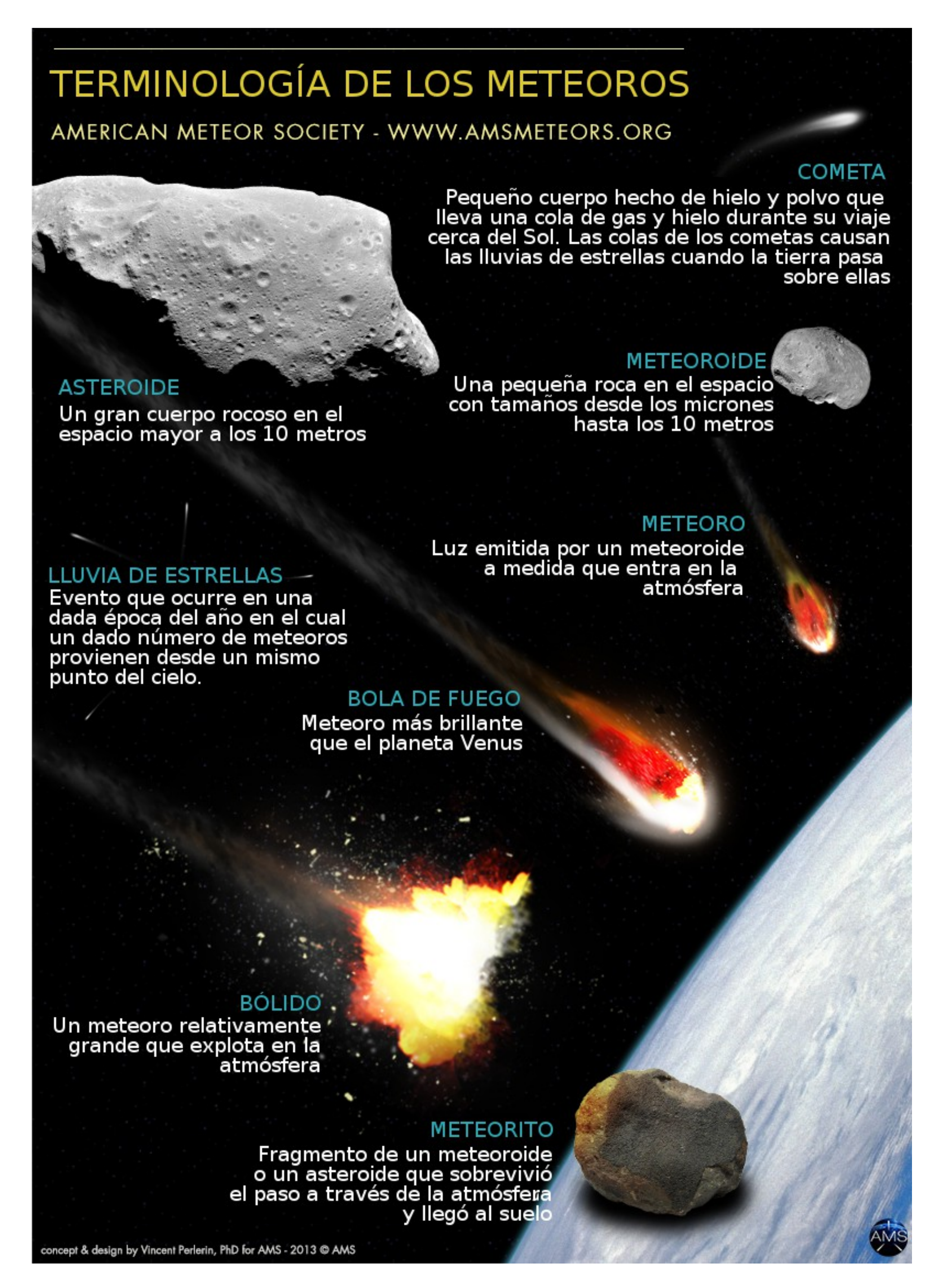
– Tal vez los más famosos son los cometas, aunque no mucha gente ha tenido la suerte de observar uno muy llamativo. Como vimos en el 1er capítulo, los cometas presentan 2 colas, están en órbita alrededor del sol, y sus colas son más pronunciadas a medida que se aproximan al Sol. Algunas veces, es posible observarlos desde la Tierra en sus pasajes cercanos al Sol, por lo que, a los cometas los encontraremos muy próximos a donde se encuentre el Sol: antes del amanecer hacia el Este o después del atardecer hacia el Oeste. Un cometa no se desplaza en el cielo, debido a que pasa a muchísimos kilómetros de la Tierra. Sólo le veremos el mismo movimiento que a los planetas y estrellas, es decir: reflejando la rotación terrestre.

– Pequeñas luces en lento movimiento que atraviesan el cielo o desaparecen de golpe, también suelen llamar nuestra atención. Ésos son algunos de los más de 1000 satélites artificiales que orbitan la Tierra. Tal vez el más emblemático es la estación espacial internacional (ISS), un laboratorio de 100 metros de largo, que alberga a 6 astronautas y está girando alrededor de la Tierra a 400km de altura sobre la superficie a una velocidad de 28mil kilómetros por hora (15 vueltas a la tierra en 1 día – 15 amaneceres y atardeceres por día!!!). La ISS puede verse tan brillante como el planeta Júpiter. Pero, los verdaderamente espectaculares son los satélites Iridium, una verdadera flota de 66 grandes satélites (destinados a telefonía móvil internacional) que desde hace más de una década no hacen más que sorprender, y hasta atemorizar, a incontables testigos en el campo, en la ruta, en la montaña, en el mar y hasta en plena ciudad. No sólo de noche, sino también a plena luz del día. Los Iridium siempre cumplen la misma rutina: aparecen en el cielo como simples puntitos de luz en movimiento, como cualquier satélite. Pero de pronto, empiezan a subir de brillo más y más, hasta producir un impresionante flash. Un fogonazo puede ser hasta unas 40 veces más brillante que el mismísimo Venus. Inmediatamente después, empiezan a palidecer, hasta que desaparecen por completo, luego de haber recorrido 30 o 40 grados en el cielo. Todo en cuestión de medio minuto. El fabuloso truco de los flashes de los Iridium tiene una explicación: estos satélites llevan dos paneles solares plateados, del tamaño de una puerta. Y esos paneles actúan como espejos, que reflejan la luz solar.

– Otros fenómenos que suelen llamar la atención son las “estrellas fugaces”. Como ya se imaginarán (sobretodo después de haber leído sobre el tamaño de las estrellas), las estrellas fugaces no son realmente estrellas que se caen sobre la Tierra!!! El nombre específico es “meteoro”. Un meteoro es un fenómeno luminoso que es visible cuando una partícula ingresa a la atmósfera terrestre y se quema. Diariamente, la Tierra es bombardeada por 100 toneladas de polvo, fragmentos de roca, hierro y hielo interplanetario. La mayor parte de ese material cae en los océanos (que cubren el 75% de la superficie terrestre). Pero a veces, esa basura cósmica puede ser vista entrando a la tierra desde zonas pobladas. Generalmente se trata de partículas de tamaños que van desde menos que un grano de arena hasta el tamaño de un poroto, pero las velocidades con las que ingresan a la Tierra van desde 20mil a 200mil kilómetros por hora. Esa alta velocidad provoca fricción con la atmósfera, se calientan, brillan y pueden dejar estelas

luminosas, eso es lo que llamamos meteoro. En general, sólo duran unos pocos segundos antes de desintegrarse completamente, dada la alta velocidad con la que se mueven, pero si algo alcanza la superficie terrestre, como mucho lo hace en 30 segundos.

Las particulas que ingresan a la atmósfera reciben el nombre de meteoroides, algunas pueden llegar a tener hasta 10 metros de diámetro. Son restos de cometas, asteroides y material remanente de la formación del sistema solar, con los que la Tierra se encuentra mientras realiza su trayectoria alrededor del Sol. Hay épocas en las que un número considerable de rocas ingresa a la atmósfera desde una dirección determinada. Eso es lo que se conoce como “lluvia de estrellas”, es cuando la tierra pasa sobre los restos dejados por el paso de algún cometa sobre su órbita. Casi todos los meses se produce una lluvia de estrellas específica, cuyos nombres están relacionados con la constelación desde la cual parecerían salir los meteoros (por ejemplo, las oriónidas, leónidas, acuáridas, etc). Pueden encontrar una lista completa por mes de las lluvias en http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Lluvias_de_meteoros o en la aplicación para android “Meteor Shower Calendar”.



Créditos: Vincent Perlerin - AMS - 2013

Las partículas pueden tener diferente composición química, por lo que al interactuar con la atmósfera podemos ver los meteoros de distintos colores, o inclusive algunos se convierten en lo que se conoce como bolas de fuego. Algunas de estas partículas pueden producir una explosión en su caída, es lo que denominamos bólido. Si algún fragmento de esas partículas alcanza la superficie terrestre, a ese pedazo de roca en el suelo es a lo que se le llama “meteorito”. El recorrido de la caída de objetos en la atmósfera dura menos de 30 segundos, algunos bólidos pueden dejar estelas que pueden durar algunos minutos.

Otra veces, las bolas de fuego son de origen artificial: hay cientos de toneladas de chatarra espacial orbitando a la Tierra, satélites abandonados, fragmentos de cohetes, herramientas perdidas por los astronautas, bulones, tuercas, etc. Es basura que tarde o temprano cae hacia la atmósfera terrestre y se quema.

En la siguiente imagen compartimos información sobre la llamada “basura espacial”:



Créditos: European Space Agency (ESA)

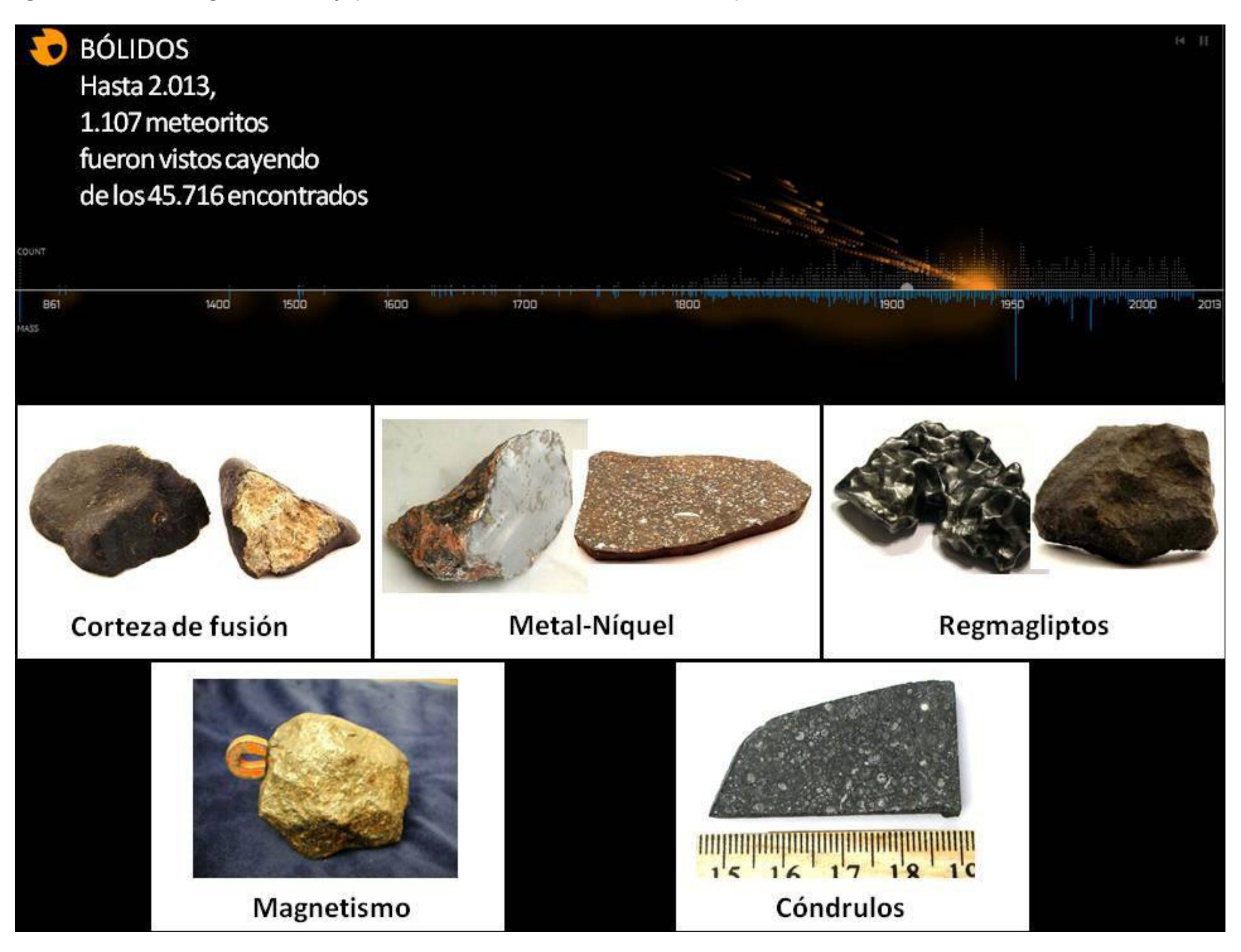
Referencias:
http://www.pagina12.com.ar/diario/suplementos/futuro/13-1752-2007-07-28.html
http://www.astroentrerios.com.ar/site/index.php?option=com_content&task=view&id=593&Itemid=70&limit=1&limitstart=0

5.2.5 DE METEORITOS Y OTRAS YERBAS

En la sección anterior aclaramos que lo que se llama meteorito es el pedazo de roca que efectivamente llega a la superficie de la Tierra. A continuación compartimos una serie de preguntas frecuentes y sus respuestas sobre este tema.

¿Cuántos meteoritos se han encontrado?

De acuerdo con el "boletín de ciencia meteorítica y planetaria", desde el año 2500 a.C hasta ahora, cientos de miles de meteoroides han ingresado a la atmósfera y han llegado hasta la superficie de la Tierra (meteoritos). De esos, 45.716 han sido registrados (encontrados o detectados por instrumentos o personas), y sólo 1.107 han sido atestiguados por personas mientras iban cayendo. En general, los meteoritos que han sido vistos mientras caían, están registrados en regiones muy pobladas de la Tierra, como Japón o el norte de India.



En la siguiente página hay una interesante aplicación en la que pueden ver en una línea de tiempo la distribución de los 1.107 meteoritos que fueron vistos mientras caían: http://bolid.es/ . Si hacen click en una fecha cualquiera, les dará el nombre del meteorito, el lugar en el que cayó, y la composición del mismo. También, en la misma página, más abajo pueden ver una lista (vertical) de los 20 meteoritos más grandes encontrados. Los listados en la columna izquierda no tuvieron testigos presenciales, y los de la derecha sí. Pueden ver en esa lista al meteorito "Campo del Cielo" encontrado en el Chaco Argentino, el cual cayó en 1576 y pesaba 50 toneladas.

¿Lo que acabo de ver por mi ventana será un meteorito?

Muchas veces recibimos preguntas desde distintos lugares sobre el avistamiento de algún posible meteoro. Quienes alguna vez nos hicieron esa pregunta, probablemente no quedaron satisfechos con la respuesta “no vimos ni escuchamos al respecto”. Con esa respuesta no les estamos diciendo “estás alucinando”, lo que pasa es que la mayoría de los fenómenos de este tipo sólo son visibles localmente y duran menos de 30 segundos, por lo que es bastante fortuito el poder observarlos. Es recomendable tratar de registrar lo más claramente posible la dirección en la que vieron el haz de luz, así al menos otros observadores pueden verificar si se trataba del mismo fenómeno. Anotar *la hora, la duración, el color, la dirección (puntos cardinales, o referencias con las estrellas) en la que apareció y la dirección a la que se dirigía.*
En general, los meteoros que avistamos no llegan a ser meteoritos.

Muchas veces la gente confunde aviones a chorro vistos al amanecer o atardecer en la dirección del sol, por la forma en que los rayos solares iluminan la estela del avión. Una manera simple de distinguir un fenómeno meteorológico/astronómico de un objeto terrestre es básicamente la duración de los eventos: los objetos que ingresan a la atmósfera se mueven a muy altas velocidades por lo que demoran menos de 30 segundos en desvanecerse (o llegar a la superficie).

¿Cómo saber si la roca que encontré es un meteorito?

Lo ideal es llevarla a analizar a algún centro de geología o museo. Pero hay unas cuantas pistas que podemos tener en cuenta antes de llevar cualquier piedra que encontremos en nuestro jardín. Algunas de las características que presentan los meteoritos son:
* corteza de fusión: la mayoría de los meteoritos presenta una corteza cenicienta, resultado de que la capa externa se derrite al atravesar la atmósfera
* regmagliptos: la superficie de un meteorito es generalmente suave, pero a menudo tiene depresiones y cavidades como si fueran huellas digitales en la arcilla húmeda.
* metal hierro-níquel: La mayoría de los meteoritos contienen al menos un metal de hierro (en realidad una aleación de hierro y níquel). Se les puede ver el metal brillante en alguna superficie rota. Meteoritos sin metal son extremadamente raros y tienen que tener algunas de las otras características de los meteoritos para poder identificarlos como tales. Los meteoritos de hierro tienen un interior plateado sin agujeros o cristales. Los meteoritos pétreos son aproximadamente la mitad de metal, y la otra mitad de cristales verdosos o naranjas. Meteoritos rocosos contienen pequeñas motas de metal que se distribuyen de manera uniforme en todo el meteorito. El metal en un meteorito tiene la característica inusual de que contiene hasta 7% de níquel. Esta es una prueba definitiva de un meteorito, pero requiere un análisis químico o grabado ácido para detectarlo.
* Densidad: una densidad inusual es uno de los rasgos más característicos de los meteoritos. No es suficiente decir que la roca es pesada. La densidad es qué tan pesada es la roca para su tamaño (medir el peso y el volumen) en comparación con otras rocas de la Tierra. Los meteoritos de hierro son 3,5 veces más pesados que las rocas terrestres ordinarias del mismo tamaño, mientras que los meteoritos pétreos son 1.5 veces más pesados. Esta prueba es útil, pero no es definitiva, ya que fragmentos de materiales artificiales, rocas minerales, el subproducto de procesos industriales y los óxidos de magnetita y hematita de hierro, también son comunes en todo en todo el mundo y con frecuencia son densos y metálicos.
* Magnetismo: La mayoría de los meteoritos contienen un metal de hierro-níquel y atraen un imán fácilmente. Se puede usar un imán común de la heladera para probar esta propiedad. Además de los meteoritos que contienen hierro, hay materiales artificiales y de origen natural de la Tierra que

son magnéticos y son fácilmente confundidos con los meteoritos. La magnetita y hematita son minerales que contienen hierro común que a menudo se confunden con los meteoritos. Se puede hacer la prueba del rayón para diferenciarlo (ver más abajo).
* Cóndrulos: Los meteoritos más comunes que caen en la Tierra son llamados condritas. Estos son meteoritos rocosos que contienen pequeñas bolas de material pétreo llamados cóndrulos que son alrededor de un milímetro de ancho. Es necesario romper el meteorito para ver los cóndrulos.

¿Cómo saber si la roca que encontré NO es un meteorito?

No siempre es fácil identificar un meteorito incluso utilizando las propiedades descritas anteriormente debido a que algunas características son compartidas por rocas terrestres comunes y materiales hechos por el hombre. Veamos algunas áreas donde la confusión puede surgir.
* Forma esférica: Los meteoritos casi nunca son perfectamente redondos o esféricos, y rara vez son aerodinámicos. Por lo general son muy irregulares en apariencia
* Burbujas o agujeros: Muchas personas creen que los meteoritos tienen la apariencia de haber sido fundidos, tal vez con una apariencia espumosa o burbujas en su superficie. Sin embargo, este no es el caso. La porción exterior de un meteorito, la corteza de fusión, es lisa o tiene los regmagliptos característicos (huellas digitales) descritos anteriormente. Sin embargo, muchas de las rocas ígneas terrestres son porosas y tienen agujeros en ellos. Estos agujeros o "vesículas" fueron producidos por las burbujas de gas que se formaron en el magma que se desató. Si usted encuentra una roca que es porosa o contiene vesículas es una roca terrestre.
*Cristales: Si hay cuarzo (un cristal blanco transparente o lechoso) no es un meteorito. El cuarzo se produce en la tierra en las rocas evolucionado en los márgenes de placas, en cambio, otros cuerpos planetarios como los asteroides no tienen este tipo de configuración y no producen cristales de cuarzo de gran tamaño. Si hay otros cristales o granos de colores brillantes en la roca, probablemente no es un meteorito. Si hay una estructura cristalina visible puede que no sea un meteorito. Esto no es concluyente debido a que algunos de los meteoritos más raros tienen una estructura cristalina. Sin embargo, los meteoritos más comunes no la tienen a menos que se analicen con un microscopio.
* Calor o radiactividad: La mayoría de los meteoritos están fríos cuando llegan a la superficie de la Tierra y no incendian el suelo. Su viaje a través de la atmósfera es corto y el calor de fricción que quema el exterior no llega a calentar el interior del meteorito.
Los meteoritos están hechos de los mismos elementos y minerales que las rocas terrestres y no son más radiactivos que las rocas terrestres, por lo que no se pueden encontrar con un contador Geiger (medición de radioctividad).
* Traza: se le llama a la marca que puede dejar una roca, como un crayón. Los azulejos comunes, como los del baño o la cocina, tienen una cara porosa que se pega a la pared cuando se instala. Tomen la muestra que piensan que es un meteorito y rayen con fuerza en la parte porosa del cerámico. Si deja una raya gris/negro entonces la muestra es casi seguro que es magnetita, y si se deja una raya roja/marrón es casi seguro que sea hematita. Un meteorito, a menos que sea uno muy muy degradado, no va a dejar una raya en el azulejo.
* Otros tipos de metal: La actividad humana ha producido objetos hechos de hierro puro durante siglos, por lo que es posible confundir estos productos del hierro hechos por el hombre con meteoritos. La principal diferencia entre el hierro producido por la actividad humana y el hierro meteorítico es la presencia del elemento níquel. Los meteoritos metálicos contienen por lo menos algo de níquel, mientras que los objetos metálicos hechos por el hombre en general no lo tienen. Un análisis especializado de la estructura interna y composición química dará las pruebas definitivas.

Referencias:

http://bolid.es/
http://www.lpi.usra.edu/science/kring/epo_web/meteorites/tests-s.html
http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php
http://meteorite.unm.edu/meteorites/meteorite-museum/how-id-meteorite/
http://www.nhm.ac.uk/nature-online/space/meteorites-dust/index.html
http://www.meteorites.com.au/found.html

5.3 RECOMENDACIONES PARA LA OBSERVACIÓN DEL CIELO

Muchas veces que invitamos a la observación del cielo, nos preguntan qué tipo de telescopio les podemos aconsejar. La respuesta, en general, es siempre la misma: no recomendamos la compra de telescopios como primer paso para la observación del cielo. Existen varias etapas previas a la observación por telescopios que es importante que las superen, para no frustrarse cuando vayan a querer usar un telescopio, y por supuesto, es necesario mucho asesoramiento antes de invertir en un telescopio (hay muchos grupos de aficionados y foros de aficionados a la astronomía en el país que van a poder contarles desde la experiencia personal cuáles son los mejores equipos para empezar). Haremos una síntesis a continuación con algunos consejos para disfrutar de la observación del cielo, con o sin instrumentos, y las características que tienen que tener en cuenta a la hora de decidirse a invertir en algún equipo de observación.

5.3.1 OBSERVACIÓN A SIMPLE VISTA

La primera etapa, y tal vez la más importante, es la observación a simple vista. Aunque les parezca demasiado simple, es importante que adquieran cierto conocimiento del cielo para poder ubicar luego otros objetos sólo visibles con telescopios.

Es bueno entender cómo funciona nuestro ojo para sacar el máximo provecho en la observación nocturna. Nuestro ojo es un instrumento óptico que detecta luz. Su función es transformar la energía lumínica que recibe en señales eléctricas que son enviadas a nuestro cerebro. Posee una lente llamada cristalino que es ajustable según la distancia, un diafragma que se llama pupila cuyo diámetro está regulado por el iris y un tejido sensible a la luz que es la retina. La luz penetra a través de la pupila, atraviesa el cristalino y se proyecta sobre la retina, donde se transforma gracias a unas células llamadas fotorreceptoras en impulsos nerviosos que son trasladados a través del nervio óptico al cerebro. En la retina están los conos y bastones, que son los receptores de la luz. Sólo pueden captar un rango muy pequeño del espectro electromagnético que es la región que llamamos “luz visible”. Los conos están concentrados en el centro de la retina, mientras que los bastones abundan más en la periferia de la misma. Cada ojo humano dispone de 7 millones de conos y 125 millones de bastones. Los conos funcionan de día y en ambientes iluminados, hacen posible la visión de los colores. Los bastones, en cambio, se activan en la oscuridad, y sólo permiten distinguir el negro, el blanco y los distintos grises.

Entonces, para la observación nocturna se hace uso principalmente de los bastones que funcionan en la oscuridad y son muy numerosos. Pero dado que se distribuyen hacia afuera del centro de la retina, en general nuestro ojo es mucho más eficiente para detectar objetos en la oscuridad con la visión periférica (o “el rabo del ojo”), es decir sin enfocar nuestra vista justo sobre el objeto que queremos ver, sino levemente hacia un costado del mismo. Así es como por lo general detectamos las estrellas fugaces (notamos un movimiento en la periferia de donde estamos mirando), también las Nubes de Magallanes se observan mejor si desviamos levemente

nuestra vista hacia un costado, o los cúmulos globulares visibles a simple vista como Omega Centauri, o las nebulosas como la nebulosa de Orión: “mirando de refilón”. Además, dado que los bastones no son sensibles a los colores, la mayoría de los objetos que observaremos de noche los veremos en blanco y negro (salvo que focalicemos la vista para activar los conos).

Otro punto importante que tenemos que tener en cuenta es que la puerta de entrada de la luz a nuestro ojo es la pupila. Si la luz es intensa, la pupila se contrae; si la luz es escasa, la pupila se dilata. Lo ideal es tener la pupila dilatada para que mayor cantidad de luz de los objetos del cielo ingrese a nuestro ojo. La pupila se contrae mucho más rápido de lo que se dilata, por eso es recomendable dejar que nuestro ojo se adapte a la oscuridad y esperar 15 minutos sin luz intensa para empezar la observación. Si por algún motivo necesitamos usar linternas, es conveniente que tengan luz roja que no afecta tanto la visión (podemos cubrirlas con papel celofán rojo).

Para esta primer etapa, una muy buena herramienta es utilizar un simulador del cielo, hay varios que son excelentes y lo mejor de todo es que la mayoría de ellos son gratuitos (por ejemplo Stellarium http://www.stellarium.org/es/ para computadoras, o Sky Maps para celulares con androind+gps+giroscopio+acelerómetro) o algún planisferio celeste que lo pueden construir ustedes mismos (http://educa-ciencia.com/planisferio-doble-cara.htm). Les dejamos aquí algunos consejos/tareas para realizar para empezar la observación sistemática del cielo:
– Reconocer los planetas Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno
– Observar la variación diaria de la fase de la Luna y sus horarios de salida/puesta
– Reconocer los movimientos del cielo
– Aprender a ubicar a las estrellas más brillantes del cielo (reconocer por lo menos 10 estrellas es un buen punto de partida), en qué dirección aparecen, cuál es la máxima altura que alcanzan en el cielo, etc
– Reconocer al menos 5 constelaciones, sus horarios, épocas del año, pueden complementar esta etapa aprendiendo algunas de las leyendas de la mitología a la que deben sus nombres, suele ser más fácil para luego encontrar las formas en el cielo y entretenido para compartir con amigos: http://on.fb.me/KRREa3
– Aprender los horarios de salida y puesta de diferentes objetos (y los objetos que no se ponen nunca!)
– Recordar la época del año en la que veremos a unos u otros (estrellas/planetas/constelaciones)
– Seguir el movimiento de satélites, de la estación espacial, de la flota de satélites iridium (pueden obtener las predicciones de los pasajes a través de una aplicación gratuita para android: ISS detector, o en internet: http://iss.astroviewer.net/observation.php; http://www.heavens-above.com/)
– Recordar algunas de las lluvias de estrellas y salir a cazar unos cuantos meteoros (pueden consultar los avisos de las próximas lluvias en la aplicación gratuita para android “Meteor Shower Calendar”)

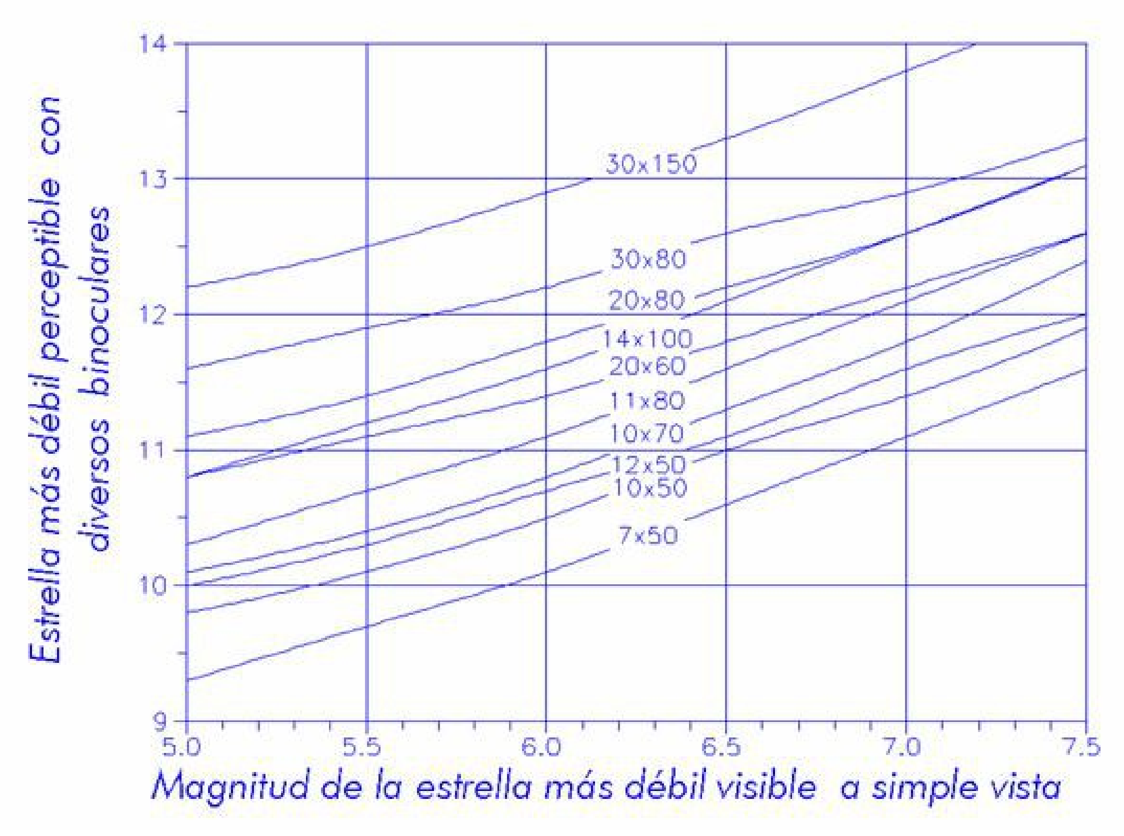
Finalmente, algunos consejos generales para mejorar la experiencia de la observación nocturna:
– elegir la noche de observación de acuerdo con las condiciones climáticas, consultar con el pronóstico del clima antes de planificar la salida.
– elegir la fase de la Luna adecuada para que no moleste a la observación si estamos interesados en ver otros objetos (fase nueva o menguante son las más adecuadas si no nos interesa la Luna, o fase llena y creciente si queremos observar características y movimientos de la Luna).
– elegir un lugar de observación con poca contaminación lumínica. El lugar ideal es lejos de las luces de las ciudades (en realidad, el lugar ideal es fuera de la atmósfera terrestre, pero probablemente ninguno de nosotros consiga llegar allí!!!). Muchas veces no tenemos la posibilidad

de trasladarnos lejos de la ciudad, por lo que en lugar de pensar en el lugar ideal, decidimos ir por "el lugar posible", y el patio de casa se convierte en ese lugar. Podemos asegurarnos de apagar las luces circundantes y pedirles a los vecinos que también lo hagan aunque sea por un par de horas. Si eso tampoco es posible, lo mejor es elegir el lugar más oscuro de nuestro propio patio.
– en la primera salida, es recomendable evaluar la calidad de su cielo para saber hasta qué magnitud serán capaces de observar (ver sección anterior), y así seleccionar los objetos en base a lo que podrán observar.
– elementos útiles que deberían formar parte de su kit del observador: linterna con luz roja; simulador del cielo o planisferio celeste, cuaderno de notas y lápiz para anotar los movimientos del cielo, si pueden un láser de luz verde de 50MW o más puede ser muy útil para señalar en el cielo, repelente de mosquitos, abrigo, mates y paciencia.

5.3.2 OBSERVACIÓN CON BINOCULARES

Finalizada la primer etapa, es un buen momento para pensar en invertir en su primer instrumento óptico: unos binoculares. Con binoculares de 7x50 o de 10x50 van a poder observar cúmulos estelares, algunas nebulosas brillantes. Con binoculares de este tipo podremos ver unas 50 veces más objetos de los que vemos a simple vista. Por ejemplo, recorrer con binoculares en invierno el brazo de la Vía Láctea es un estallido de emociones por la cantidad de objetos que podremos observar. En cuanto a presupuesto, unos binoculares cuestan aproximadamente la cuarta parte de lo que cuesta un telescopio.

En la siguiente figura se compara la magnitud límite que podemos llegar a observar con binoculares con la magnitud límite que se puede ver a simple vista. Retrocediendo a la sección anterior, podemos calcular cuántos objetos más podremos ver con nuestros binoculares:



Créditos: José R. Torres - http://www.uv.es/jrtorres/binoculars.htm

Siempre encontraremos las referencias a los binoculares con 2 números, por ejemplo: 7x50 o 10x50, etc. El primer número es lo que se le llama “aumentos” y el segundo número es el diámetro de cada lente expresado en milímetros. Lo importante de unos binoculares es el cociente entre esos dos números: si los dividimos obtenemos la medida de la “pupila de salida” del binocular: por ejemplo, unos binoculares de 10x50 tienen una pupila de salida de 50/10=5 milímetros. Es conveniente que la pupila de salida del binocular sea similar en tamaño a la pupila de nuestro ojo. La pupila humana dilatada en la oscuridad mide entre 5 y 7 milímetros.

También es importante tener en cuenta el peso de los binoculares, sobre todo si planeamos pasar mucho tiempo escudriñando el cielo con ellos. Los binoculares de 50mm de diámetro no suelen pesar más de 1kg, son totalmente manejables. Si pensamos en binoculares con mayor diámetro, es recomendable también pensar en un trípode para sostenerlos.

¿Qué objetos interesantes se pueden observar con binoculares?

Los cúmulos estelares (muchos objetos Messier) son los primeros que descubrirán fácilmente con binoculares pequeños, es interesante complementar la observación con información específica de cada uno de los objetos con los que nos topamos. Nuevamente, los simuladores del cielo serán de muchísima utilidad para reconocer qué tipo de objeto es el que estamos observando, o para salir a buscar un objeto en particular (antes, verificar la magnitud límite del objeto que queremos observar).

A continuación, les dejamos una lista de enlaces donde se mencionan distintas virtudes de los binoculares, y los objetos específicos que pueden ser observados dependiendo del tamaño de binoculares que utilizen:
http://astroptika.com/informacion-y-soporte/que-puedo-ver-con-mis-binoculares/
http://espanol.earthsky.org/guias-astronomicas/los-mejores-10-consejos-para-usar-binoculares-para-ver-las-estrellas
http://www.cielosur.com/notas_anteriores/paseo1.php
http://www.uv.es/jrtorres/binoculars.htm
http://www.espacioprofundo.com.ar/foros/comparativa-diferentes-binoculares-t23751.html

– Recién después de que se hayan "aburrido" de explorar el cielo de esta manera, pueden salir a buscar el telescopio que más se adecue a su presupuesto, a sus intereses (a esta altura ya van a tener más claro qué tipo de objetos les gustaría ver con más detalle) y a sus conocimientos.

5.3.3 OBSERVACIÓN CON TELESCOPIOS (con aportes de la Lic. Mónica Taormina)

Cuando vayamos a observar por un telescopio, es importante recordar algunos de los puntos que hemos mencionado en las secciones anteriores y en la introducción:
– nuestro ojo verá las imágenes de los objetos principalmente en blanco y negro
– las coloridas fotografías astronómicas que observamos en la red, primero: son fotografías, y segundo, tienen colores debido al procesamiento que se realizó de esas fotografías.

Como mencionamos anteriormente, el ojo humano tiene sus limitaciones. En particular, no es eficiente para colectar luz. Ésa es la razón por la que en Astronomía desde aproximadamente 1850 se reemplazó al ojo humano por una placa fotográfica de vidrio (precursora de las películas fotográficas) y posteriormente, alrededor de 1970, por cámaras digitales (CCD) que luego se

popularizaron para el uso no científico. En una fotografía: a mayor tiempo de exposición, es mayor la cantidad de luz que se puede colectar, por lo tanto es posible detectar objetos más débiles. El ojo humano no tiene esa función de acumular luz por lo que, por más que nos quedemos mirando mucho tiempo un objeto o una región del cielo, no seremos capaces de ver más.

Por otro lado, hay que pensar que al observar el cielo a través de un telescopio, si bien seremos capaces de ver objetos mucho más débiles que los que vemos a simple vista, la región visible (el campo del telescopio) corresponderá a una región muy pequeña del cielo, por lo que ubicar un objeto en el campo del telescopio puede ser bastante difícil si no conocemos exactamente sus coordenadas (no tendremos muchos otros objetos de referencia en el mismo campo como para que nos sirvan de guía, algo que sí es factible con los binoculares que tienen un campo mucho más amplio).

Estas advertencias previas son sólo para evitar frustraciones a la hora de observar por un telescopio, sobre todo cuando luego de haberlo comprado descubren que no era lo que se imaginaban o que no pueden apuntar al objeto que desean.

Antes de pensar en comprar un telescopio, es importante conocer las características más importantes a tener en cuenta para poder aprovechar al máximo nuestra inversión. Al igual que hacemos cuando compramos un celular, o cualquier otro dispositivo, es bueno comparar características de distintos modelos, en base a nuestras expectativas.

Por supuesto, lo primero que deberemos pensar es cuánto queremos invertir en nuestro futuro telescopio. Dependiendo de ello serán las características que tendrán más peso a la hora de elegirlo. Les dejamos aquí algunas de las características principales con las que se encontrarán al momento de elegir un telescopio.

1. TUBO
Es el telescopio en sí. Elementos ópticos fundamentales: objetivo y ocular.

I. Objetivo: es la pieza que define al telescopio.

Éstos pueden ser lentes (telescopios refractores) o espejos (telescopio reflectores). Podemos reconocerlos rápidamente si vemos la forma del tubo. Aquellos con forma de cono poseen lentes y aquellos con forma cilíndrica, espejos.

Uno de los principales problemas al comprar un refractor es que las lentes sufren de lo que se conoce como aberración cromática. Recordemos que la luz visible está compuesta de "colores", éstos se comportan de manera distinta al incidir sobre la lente, formando un foco no puntual sino alargado. Por lo cual a los objetos los veremos rojos por un lado y azules por el opuesto. Los espejos no poseen este inconveniente ya que la luz se refleja, por ello es *conveniente* comprar telescopios reflectores.

También existen telescopios que combinan lentes y espejos, son llamados catadióptricos. En general son los utilizados para trabajos científicos, suelen ser bastante más caros que los refractores o reflectores, y de mayor diámetro y peso, por lo que pocas veces son fáciles de transportar.

Diámetro del objetivo: a mayor diámetro se pueden observar objetos mas débiles porque aumenta la superficie que recolecta luz. Para telescopios refractores, menos de 70mm de diámetro es un juguete. Para telescopios reflectores, a partir de los 114mm ya se pueden apreciar cosas interesantes, mas de 200mm deja de ser trasladable el telescopio.

II. Ocular: Los oculares son juegos de lentes que se ubican en el plano focal del objetivo del telescopio. Esto es, donde la lente o el espejo principal hace foco, y serán los responsables de la calidad con la que veamos la imagen de los objetos. Los oculares son los dispositivos ópticos que proporcionan la ampliación a las imágenes. Se diferencian entre sí por los diferentes modelos (diseños ópticos) y distancias focales. Una distancia focal corta proporciona gran ampliación (ideal para objetos brillantes, campo visual reducido y para objetos tenues una vez ubicada la zona de observación), una distancia focal larga proporciona menor ampliación (mas campo visual, ideal para búsquedas)

Los oculares son intercambiables, los hay de diferentes medidas y diseños.

- Es importante que el diámetro de los oculares de nuestro primer telescopio sea de por lo menos 1,25 pulgadas (equivalente a 31,8 milímetros), en ese mismo diámetro encontraremos distintas distancias focales (10mm o 25mm).
- En cuanto a diseños, los oculares de plástico son de muy baja calidad, las imágenes que forman son muy pobres, incluso en el mejor de los telescopios. Es mejor tener sólo un buen ocular antes que tres o cuatro de baja calidad. En general no se recomienda nada por debajo de un SMA (acromático modificado) y mejor aún sería un Plössl.

Si el telescopio que están eligiendo posee buenas características, pero los oculares no son muy buenos, consideren conseguir al menos un ocular de calidad comprobada (preferentemente de mayor distancia focal – menor aumento)

2. TRÍPODE

Vamos a observar a los objetos con mucho aumento y cualquier movimiento, aunque sea muy pequeño se traducirá en un gran movimiento de lo que estemos mirando. El trípode debe mantener lo más estable posible al tubo. Por ello, hay que fijarse bien que el trípode sea de material robusto, los de plástico no nos brindarán la estabilidad necesaria.

3. MONTURA

Existen dos clases de monturas: acimutales y ecuatoriales, dependiendo del sistema de referencia que utilicen. Básicamente el primero depende del lugar donde se encuentre el observador y el segundo es universal, independiente de dónde se esté parado.

– La montura acimutal es la más sencilla, es fácil aprender a usarla ya que los dos movimientos que puede realizar son los que naturalmente utilizamos en la vida cotidiana para hacer referencia a posiciones en el cielo: un movimiento perpendicular al horizonte, que nos da la altura de los astros, y un movimiento sobre el horizonte que nos da la dirección (Norte, Sur, Este, Oeste). Una variación de la montura acimutal es el diseño Dobson, que no necesita trípode. El principal problema de este tipo de montura es que ambos ejes (altura y dirección angular) tienen que ajustarse continuamente para compensar la rotación de la Tierra, que es la responsable del movimiento aparente de los astros en el cielo. Por lo que si queremos observar un objeto por

períodos prolongados (o son varias personas las que quieren mirar el mismo objeto), hace falta corregir las 2 coordenadas muy frecuentemente. Si en algún momento pensamos en motorizar nuestro telescopio, serán necesarios 2 motores para corregir cada eje por separado. Sin embargo, si sólo pensamos en observación a simple vista, los modelos dobsonianos suelen ser los más convenientes en cuanto a la relación apertura/precio.

– La montura ecuatorial si bien es un poco más complicada de aprender a usar (nada que con un poco de práctica no se consiga fácilmente!), es la ideal ya que está diseñada para tener movimientos que sigan naturalmente el movimiento aparente del cielo: un eje apunta al polo sur celeste, y el otro está en la dirección del ecuador terrestre (antes de empezar la observación hay que alienar correctamente los ejes del telescopio, es decir, ponerlo en estación). Este sistema de coordenadas es el que se utiliza para dar la posición de los objetos del cielo en cualquier lugar del mundo, por lo que la encontraremos en cualquier catálogo que utilicemos para buscar objetos interesantes para observar. Este tipo de monturas permite compensar el movimiento de rotación de la Tierra con una única corrección, además siempre incluyen perillas de movimiento fino para un mejor seguimiento de lo que estemos observando, y es muy factible que podamos motorizarla para realizar observaciones de larga exposición (ideal para astrofotografía si algún día queremos avanzar en ese campo).

– Además, todos los telescopios incluyen un buscador, que es un telescopio más chiquito ubicado de manera paralela al tubo (fundamental para ubicar las cosas en el cielo), un juego de oculares y barlows (sirven para aumentar la distancia focal del tubo, pero no son muy importantes).

Existen variados modelos y precios de telescopios. Algunos más modernos tienen incorporados programas donde tienen cargados catálogos de objetos y sólo hay que indicar el nombre del objeto que queremos observar y utiliza los motores para apuntar automáticamente hacia ese objeto. Actualmente (febrero de 2014), entre los $3.000 y $9.000 pesos pueden encontrar muy buenos equipos en Argentina. A continuación, les dejamos algunos ejemplos de marcas varias disponibles en el mercado argentino, con buenas prestaciones:

	Meade DS 90 Audio Star	**Sky-Watcher** Explorer 114 EQ2	**Sky-Watcher** Explorer 130P EQ2	**Celestron** NexStar 130STL	**Meade** DS 130 Audio Star	**Sky-Watcher** Explorer 150P NEQ3	**Meade** LXD 6" SN	**Sky-Watcher** Skyliner 200P FlexTube
Tipo	Refractor	Reflector	Reflector	Reflector	Reflector	Reflector	Reflector	Reflector
Apertura	90mm	114 mm	130 mm	130 mm	130 mm	150 mm	152 mm	203 mm
Distancia focal	800mm	900 mm	650 mm	650 mm	1000 mm	750 mm	762 mm	1200 mm
Relación focal	F8.8	F7.9	F5.0	F5.0	F7.7	F5.0	F5.0	F5.9
Diámetro Oculares		2 de 31,8mm	2 de 31.8mm	31,8mm y 2"	2 de 31,8mm	2 de 31,8 mm + 2 barlow	2"	2 de 31,8mm
Distancia focal oculares	25mm y 9mm	25mm y 10mm	25mm y 10mm		26mm y 10mm	25mm y 10mm	26mm	25 y 10 mm
Aumento máximo		270x	310x	306x		360x	300x	400x
Trípode	Aluminio	Aluminio	Aluminio	Acero de 32mm	Aluminio	Aluminio o acero		No precisa
peso				14 kg		18 a 25 kg	21 kg	
montura	Acimutal	Ecuatorial	Ecuatorial	Acimutal	Acimutal	Ecuatorial	Ecuatorial	Dobson
buscador	Con láser	5x24	6x30	6x30 Con láser	Con láser	6x30	6x30	9x50
Motor	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	No
Precio	AR$ 4.876	AR$ 3.050	AR$ 3.740	AR$ 9.410	AR$ 5.654	AR$ 5.745	AR$ 8.770	AR$ 6.050
Precio dólar	US$ 610	US$ 382	US$ 468	US$ 1.176	US$ 707	US$ 718	US$ 1.096	US$ 756

Referencias y más recomendaciones:

– Carlos Colazo – Taller de Telescopios – Mayo 2013 – OAC – cacolazo@hotmail.com
http://www.espacioprofundo.com.ar/verarticulo/%BFComo_elegir_un_telescopio%3F.html
http://www.astrosurf.com/astronosur/primer_telescopio.htm
http://www.astrosurf.com/astronosur/accesorios.htm
http://www.espaciosur.com.ar/2010/01/que-telescopio-debo-comprar.html

Venta de telescopios en Argentina:

http://www.duoptic.com/
http://astronomia.saracco.com/
http://www.opticacosentino.com.ar/



ISBN 978-987-33-5816-6
9 789873 358166